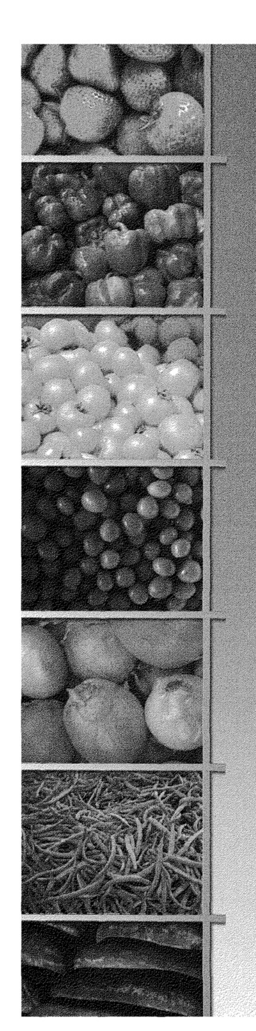
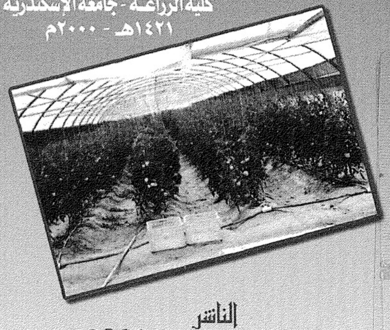


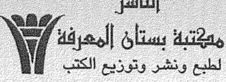
هندسة بيئة الصوب الزراعيــة



إعداد
دكتور/ محمد حلمي إبراهيم
أستاذ هندسة بيئة المنشآت الزراعية
قسم الهندسة الزراعية
كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية

١٤٢١هـ - ٢٠٠٠م



الناشر

مكتبة بستان المعرفة
لطبع ونشر وتوزيع الكتب

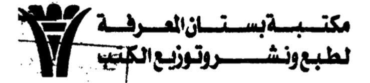


هندسة بيئة الصوب الزراعية

إعداد
دكتور/ محمد حلمي إبراهيم
أستاذ هندسة بيئة المنشآت الزراعية
قسم الهندسة الزراعية
كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية

١٤٢١هـ - ٢٠٠٠م

الناشر



اسم الكتاب: هندسة بيئة الصوب الزراعية

اسم المؤلف: الأستاذ دكتور/ محمد حلمى إبراهيم

رقم الإيداع بدار الكتب والوثائق المصرية: ٨٩٢٣ /٢٠٠٠

الترقيم الدولى: I.S.B.N. 977 - 6015 - 08 - 5

الطبعة: الأولى

التجهيزات الفنية: كمبيوتر *2000* ☎: ٠٤٥/٢١٥٩٦٥

الطبع: دار الجامعيين للطباعة والتجليد الاسكندرية ☎: ٠٣/٤٨٦٢٠٠٤

الناشر: **بستان المعرفة**

٦٧ شارع سور المصنع ـ الحدائق ـ كفر الدوار

تليفون:٠٤٥/٢٢٤٢٢٨ & ٠١٢٣٥٣٤٨١٤


بسم الله الرحمن الرحيم



فهرس



الفصل الأول

مقدمة



الفصل الأول

مُقَدِّمَة

يعتبر استخدام المستحدثات الفنية فى المجال الزراعى من أهم أساليب التنمية الزراعية التى تساهم بدرجة كبيرة فى تنمية الإنتاج وتطويره كما ونوعاً، ومن ثم فى مواجهة الطلب المتزايد على الغذاء، وتعد الزراعة المحمية أحد أهم الأساليب التقنية التى يتم تطبيقها حاليا. فكما هو معروف، فإن هناك العديد من المتغيرات التى تؤثر على النبات وإنتاجيته. فتغير طول اليوم والطاقة الإشعاعية ودرجة الحرارة والرطوبة وكذلك مكان الزراعة والفصل من السنة من العوامل البيئية التى تؤثر على الإنتاجية. فانخفاض درجات الحرارة مثلاً فى فصل الشتاء وخاصة أثناء الليل خلال فترات قد تصل إلى عدة أشهر تحد من فاعلية زراعة النباتات التى قد تحتاج إلى أجواء دافئة. ومن الناحية الأخرى، تعمل الصوب الزراعية على خفض درجة الحرارة فى فصل الصيف وذلك عن طريق استخدام وسائل التكييف المختلفة. كما تعمل الصوب أيضاًعلى خفض الآثار الميكانيكية للرياح.

وتعمل الصوب أيضاً على التحكم فى رطوبة الهواء الداخلية ــ وخاصة فى الأجواء الحارة القاحلة ـ مما يقلل من معدل البخر الكلى للنباتات وبالتالى متطلبات النباتات من الرى. وهناك أيضاً عوامل أخرى بيئية تؤثر على الإنتاجية مثل تباين التربة من حيث النوع والتركيب والخصوبة. وقد كان لهذه المتغيرات سعى متصل من الإنسان لاستخدام الزراعة المحمية للتحكم فى تلك الظروف على حسب الاحتياجات، وبالتالى تكثيف الإنتاج عن طريق إطالة الفترات الصالحة للزراعة.

وتشير تقارير وزارة الزراعة أن إنتاج الصوب من الخضر يعادل حوالى ثمانية أمثال إنتاجها فى العراء[٣]. ولذا كان الرأى بأن إنتاج الخضر

تحت الصوب فى مساحة تعادل $\frac{1}{8}$ مساحتها فى العراء يوفر الأرض لإنتاج الحاصلات الأساسية مثل القمح شتاء والذرة صيفاً. وعامة يمكن إجمال أهم مزايا الزراعة المحمية باستخدام الصوب الزراعية كما يلى[٢]:

١- زيادة إنتاجية وحدة المساحة بمقدار ٧ - ١٠ مرات بالمقارنة مع الزراعة فى الحقول المكشوفة.

٢- التوفير فى مياه الرى لاستخدام تقنيات الرى الحديثة التى تعطى الاحتياجات المائية الفعلية.

٣- إنتاج شتلات ذات جودة عالية ومواصفات مرغوبة.

٤- تحقيق الاستقرار لبعض الزراعات دون التأثر بالتغيرات فى الظروف الجوية السيئة.

٥- إنتاج بعض النباتات خلال أشهر نقصها فى الأسواق لتغطية احتياجات المستهلكين، وكذا تصدير الفائض ليحقق عائداً مجزياً.

٦- إنتاج النباتات الطبية والتى تحتاج إلى مناخ خاص فى تربيتها.

وقد تطورت فكرة الزراعة المحمية على مدار سنوات طويلة اتخذت فيها أشكالاً عديدة ومتنوعة مثل استخدام مصدات الرياح والتدريب والتغطية بالقش وغيرها من الوسائل. فعلى سبيل المثال، كان يتم تغطية أحواض المشتل بقش الأرز لبعض محاصيل الخضر فى العروة الصيفية لحماية البادرات وتلطيف درجة حرارة التربة حول النباتات. كما يتم استخدام قش الأرز فى تغطية نباتات الخضر وخاصة الباذنجانيات وذلك لحماية الثمار من لفحة الشمس فى الصيف. ويعيب على تلك الطريقة أنها تعتبر مصدراً لإصابة النباتات بالأمراض والآفات كما أنها تؤدى إلى نمو العفن والفطريات عند سقوط الأمطار.

وقد استخدم أيضا عملية غرس عيدان من البوص على مسافات متقاربة على خطوط الزراعة لبعض المحاصيل الخضرية فى العروة الشتوية لرفع درجة حرارة الجو نسبيا حول النباتات وكذلك لحماية النباتات من الرياح. كما يتم أيضا تغطية النباتات ببعض الأغطية الخاصة المصنوعة من الورق وذلك لحمايتها من الرياح الباردة والعمل على رفع درجة الحرارة. وفى أحيان كثيرة يتم تغطية سطح التربة بغشاء رقيق من البلاستيك يعمل على حفظ الرطوبة الأرضية والحد من تبخر الماء ووقف نمو الحشائش الضارة.

وهناك أيضاً الأنفاق البلاستيكية التى تعمل على توفير الحماية اللازمة والوقاية من أخطار الصقيع والبرودة إلى جانب حماية الخضروات المنزرعة تحتها من أضرار الرياح والأمطار الغزيرة. ثم أخيرا الصوب الزراعية، وهى عبارة عن منشآت مقامة على هياكل خشبية أو معدنية ومغطاة بأغطية بلاستيكية أو زجاجية تسمح بمرور الطاقة الشمسية إلى الداخل. وتعتبر البيوت الزجاجية أفضل صور الزراعة المحمية ويرجع تاريخ استخدامها إلى عصور الرومان واليونان حيث كانت تستخدم فى زراعة نباتات الزينة والنباتات النادرة التى كانت تجلب من بلاد بعيدة.

وقد بدأ استخدام الزراعة المحمية فى مصر خلال فترة الستينات وذلك للأغراض البحثية. ثم تطورت تلك الزراعة حتى بلغ إجمالى المساحة المنزرعة بالصوب حوالى ٢٨ ألف فدان فى عام ١٩٩٢*. وتتركز معظم تلك المساحات فى محافظات الاسماعيلية والبحيرة والشرقية وشمال سيناء.

---

* **المصدر:** مركز البحوث الزراعية - مشروع الزراعة المحمية - حصر تم بتاريخ يناير ١٩٩٢.
- بيانات غير منشورة.

وقد تطور استخدام الصوب الزراعية المكيفة وغرف نمو النباتات. فتعتبر عملية تكييف الظروف البيئية السبب الأساسى الذى من أجله شيدت الصوب الزراعية. وقد ساعدت ميزة تهيئة البيئة البحاث على دراسة تأثير العديد من العوامل البيئية على نمو النبات سواء كانت مفردة أو مجتمعة مع بعضها البعض. وقد ساعدت تلك المنشآت البحاث على إيجاد أقل وأمثل وأقصى ظروف مطلوبة لإنبات البذور والنمو الخضرى وتطور نمو الفاكهة وأصناف مختارة من الزهور. وتستخدم المنشآت ذات التحكم البيئى حديثاً بواسطة المربيين التجاريين للتعجيل بإنتاج الشتلات. وتعتبر العلاقة بين النبات والبيئة معقدة للغاية، نظراً لوجود عدد كبير من التفاعلات البيئية مع البنية الوراثية التى تعمل عند مستويات عديدة تبدأ من مستوى الخلية إلى مستوى النبات ككل.

ونظراً لقلة المعلومات المتاحة باللغة العربية عن تهيئة بيئة الصوب الزراعية وما نشر عنها يعد بالنزر اليسير الذى لايشبع رغبات المهتمين والقائمين بتلك الزراعة سواء بمصر أو العالم العربى، فإن إعداد هذا الكتاب يهدف فى مجمله إلى توفير المعلومات الأساسية الخاصة بالصوب الزراعية من حيث مواد الإنشاء والتهوية وطرق التحكم البيئى عند المستوى المطلوب مع تقديم الخلفية العلمية لكل المهتمين بمجال تهيئة بيئة الصوب الزراعية. فالغرض من إعداد هذا الكتاب هو تقديم "أفضل ما تم الوصول إليه" بالنسبة لتكييف الصوب الزراعية مع الأخذ فى الاعتبار لأساسيات التهوية وخصائص استخدام الهواء والطاقة بالنسبة لنظم محددة.

وأخيراً أرجو أن أكون قد وفقت فى تقديم عمل مفيد، والله من وراء القصد.

د. محمد حلمى إبراهيم

الفصل الثانى

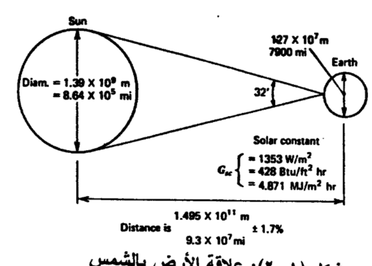
طاقة الأشعة الشمسية

الفصل الثانى

طاقة الأشعة الشمسية

الشمس:

تتولد الطاقة الشمسية من التفاعلات الحرارية النووية داخل الكرة الشمسية. وتعتبر الشمس مفاعل إندماجى نووى تتحرر فيه طاقة هائلة نتيجة لأتحاد بروتونات الهيدروجين لتكوين نواة الهيليوم. ويتم التفاعل داخل الكرة الشمسية وتنتقل الطاقة إلى سطح الشمس ومنها يتم الإشعاع إلى الفضاء. ويبلغ قطر قرص الشمس حوالى ١,٣٩ مليون كيلومتر[١٤]. وتبعد الشمس عن سطح الأرض بمسافة متوسطة مقدارها ١٥٠ مليون كيلو متر. وتقدر درجة حرارة الشمس بحوالى ٥٧٦٢ درجة كلفن المطلقة. وتبلغ نسبة الإشعاع الشمسى التى تصل إلى الأرض حوالى ٤٣٪، بينما ينعكس حوالى ٤٢٪ من الإشعاع الشمسى للفضاء الخارجى. أما النسبة المتبقية والتى تقدر بحوالى ١٥٪ فيتم امتصاصها وتبعثرها فى جو الأرض بواسطة جزيئات الماء والهواء والغبار. وتدور الشمس حول محورها ـ كما يبدو من على سطح الأرض ـ حوالى مرة كل أربعة أسابيع. ويوضح الشكل رقم (٢،١) علاقة الشمس بالأرض[١٤].



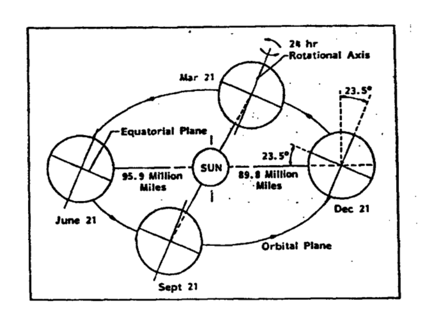
شكل (١، ٢): علاقة الأرض بالشمس

الثابت الشمسى:

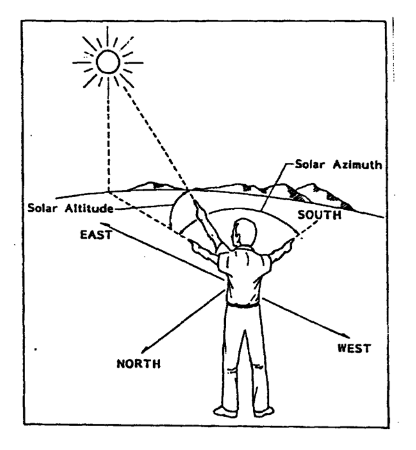
يعرف الثابت الشمسى بمعدل الطاقة المنبعثة من الشمس والساقط فى اتجاه متعامد على وحدة المساحات عند سطح الغلاف الجوى الخارجى وتقدر تلك الطاقة بحوالى ١٣٥٣ واط/متر٢ (١,٩٤ كالورى /سم٢. دقيقة ٤٢٨ وحدة حرارية إنجليزية / قدم٢. ساعة، أو ٤,٨٧١ ميجاجول / متر٢ ساعة). وتقدر نسبة الخطأ بحوالى ± ١,٥٪. وتتغير شدة الأشعاع الشمسى عن معدلها بمقدار ٣,٥٪ بسبب تغير المسافة وميلان محور الأرض.

وتدور الأرض حول نفسها مرة كل ٢٤ ساعة مسببة الليل والنهار كما تدور الأرض حول الشمس دورة كاملة فى السنة مسببة فصول السنة الأربعة. ويرجع اختلاف طول كل من الليل والنهار باختلاف فصول السنة الأربعة إلى أن محور دوران الأرض يميل بزاوية مقدارها ٢٣,٥° عن المستوى المدارى للأرض. ويوضح الشكل رقم (٢، ٢) حركة دوران الأرض حول الشمس[١٨]. كما يوضح الشكل رقم (٣، ٢) زوايا انحراف وارتفاع الشمس[١٨]. ويعتبر يوم ٢١ ديسمبر أقصر نهار يوم فى السنة وكذلك أول يوم فى فصل الشتاء، بينما يعتبر يوم ٢١ يونيو أطول نهار يوم فى السنة وكذلك أول يوم فى فصل الصيف. ويُوجد أيضا يومين يتساوى فى كل منهما طول كل من الليل والنهار وهما ٢١ مارس (أول يوم فى فصل الربيع) و ٢١ سبتمبر (أول يوم فى فصل الخريف).

وتتميز الظروف المصرية بأن نسبة سطوع أشعة الشمس تتراوح ما بين ٦٣٪ و ٨٩٪. ويوضح الجدول رقم (١-٢) المتوسط الشهرى لنسبة سطوع الشمس[٣].



شكل (٢،٢): حركة دوران الأرض حول الشمس



شكل (٢،٣): زوايا انحراف وارتفاع الشمس

جدول (١-٢) المتوسط الشهرى لنسبة سطوع أشعة الشمس، ٪

الموقع	يناير	فبراير	مارس	إبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
الاسكندرية	٧٢	٦٨	٧٣	٧٥	٨١	٨٦	٨٧	٨٩	٨٥	٨٢	٧٦	٦٣
ألماظه	٧٢	٧٥	٧٤	٧٤	٧٤	٧٨	٨٤	٨٥	٨٦	٨٤	٨٠	٧١
الجيزة	٦٨	٧٢	٧٣	٧٥	٨٠	٨٦	٨٥	٨٥	٨٥	٨٢	٧٨	٧٠

ويطلق على أشعة الشمس النافذة والتى تصل إلى سطح الأرض بالأشعة المباشرة. ويوجه أيضاً جزء آخر من الأشعاع يحدث له تشتت بواسطة ذرات الأتربة وبخار الماء. وتتوقف كمية الطاقة الشمسية المتبعثرة والممتصة على طول المسافة التى يقطعها الإشعاع خلال طبقات الجو، وكذلك على تراكيز بخار الماء وأكسيد الكربون والأتربة فى طبقات الجو. ويطلق على مجموع كل من الأشعة المباشرة والأشعة المشتتة بالإشعاع الكلى. والإشعاع عامة يمكن تصنيفه على حسب طول الموجة كالتالى:

- الإشعاع الشمسى أو ذو الموجات القصيرة:

وهو الإشعاع المُنبعث أصلا من الشمس ويقع أطوال موجاته فى المدى ٠,٣ إلى ٣,٠ ميكرومتر. ويلاحظ أن الإشعاع الشمسى يتضمن كلاً من الإشعاع المباشر والإشعاع المشتت.

- الإشعاع ذو الموجات الطويلة:

وهو الإشعاع المنبعث أصلاً من مصادر ذات درجات حرارة قريبة من درجة حرارة الجو ويكون أطوال موجاته أكبر من ٣,٠ ميكرومتر.

شدة الإشعاع الشمسى:

تتغير شدة الإشعاع الشمسى أثناء النهار بارتفاع الشمس وزيادة زاوية الارتفاع الشمسى عن سطح الأرض. وتقع أقصى قيمة لشدة الإشعاع الشمسى

عند فترة الظهيرة. ويمكن حساب شدة الإشعاع الشمسى على سطح أفقى كما يلى[١]:

$$I=(C+\sin\theta)Ae^{-B/\sin\theta} \qquad (2-1)$$

حيث:

A و B و C ثوابت تحدد من الجدول رقم (٢-٢).

θ = زاوية الارتفاع الشمسى

قوانين الإشعاع:

تعتمد خاصية إنبعاث الإشعاعات من الأجسام على درجة حرارة تلك الأجسام. ويعرف الإشعاع الحرارى على أنه طاقة كهرومغناطيسية تبث خلال الفضاء فى سرعة الضوء. ونظراً لأن سرعة كل الإشعاعات تعادل تقريباً سرعة الضوء، فإنه يمكن تصنيف الإشعاعات على أساس طول الموجة.

$$\lambda=C/f \qquad (2-2)$$

$$C=Co/n \qquad (2-3)$$

حيث:

λ : طول الموجة

C : سرعة الضوء (٢,٩٩٨ × ١٠ ^٨^ متر/ث)

f : التردد أو مقدار الذبذبة / ثانية

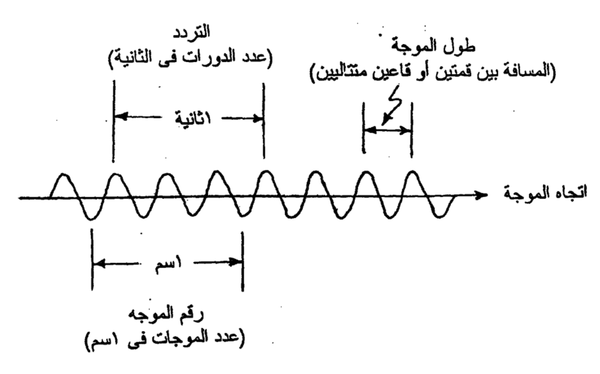
Co: سرعة الضوء فى الفراغ

n : معامل الانكسار

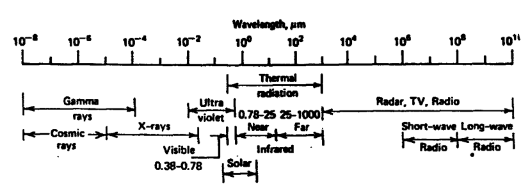
ويوضح الشكل رقم (٢،٤) المصطلحات الخاصة بتعريف الموجة الإشعاعية. كما يوضح الشكل رقم (٢،٥) تصنيف للإشعاع الكهرومغناطيسى وذلك على أساس طول الموجة[١٤].

جدول (٢-٢): ثوابت حساب شدة الإشعاع الشمسى[1].

التاريخ	A	B	C
	واط / م٢	(نسب بدون وحدات)	
يناير ٢١	١٢٣٠	٠,١٤٢	٠,٠٥٨
فبراير ٢١	١٢١٤	٠,١٤٤	٠,٠٦
مارس ٢١	١١٨٥	٠,١٥٦	٠,٠٧١
إبريل ٢١	١١٣٥	٠,١٨٠	٠,٠٩٧
مايو ٢١	١١٠٣	٠,١٩٦	٠,١٢١
يونيو ٢١	١٠٨٨	٠,٢٠٥	٠,١٣٤
يوليو ٢١	١٠٨٥	٠,٢٠٧	٠,١٣٦
أغسطس ٢١	١١٠٧	٠,٢٠١	٠,١٢٢
سبتمبر ٢١	١١٥١	٠,١٧٧	٠,٠٩٢
أكتوبر ٢١	١١٩٢	٠,١٦٠	٠,٠٧٣
نوفمبر ٢١	١٢٢٠	٠,١٤٩	٠,٠٦٣
ديسمبر ٢١	١٢٣٣	٠,١٤٢	٠,٠٥٧



شكل (٢،٤): مصطلحات الموجة الإشعاعية



شكل (٢،٥): تصنيف الإشعاع الكهرومغناطيسى

قانون بلانك للإشعاع:

يعرف على أن شدة الانبعاث الإشـعاعى من جسم أسـود يعتمد فقط على درجة حرارة الجسم وطـول الموجـة. ويعـرف الجسم الأسـود علـى أنـه الجسم القادر نظرياً على امتصاص كل الأشعة الساقطة عليه بغض النظر عن طول الموجة أو اتجاه سقوط الإشعاع ولا ينعكس أى منها. وهو أيضاً الجسم القادر على إصدار أقصـى شدة انبعاث حرارى ممكن عند درجة الحرارة المعطاة.

$$E_{\lambda b} = \frac{2\pi h Co^2}{\lambda^5 (e^{hCo/\lambda kt} - 1)} \qquad (2-4)$$

حيث:

$E_{\lambda b}$: الطاقة الإشعاعية بالنسـبة لوحدة كل من المسـاحات والزمن والطـول الموجى من جسم أسود درجة حرارته T، واط / متر². ميكرومتر.

k : ثابت بولتزمان

h : ثابت بلانك

T : درجة حرارة الجسم، درجة مطلقة.

ويطلق على المصطلح $2\pi h Co^2$ ثابت بلانك الأول، كما يطلق على المصطلح $h Co/k$ ثابت بلانك الثانى. وإذا رمزنا للثابت الأول بالرمز C1 والثابت الثانى بالرمز C2، فإنه يمكن كتابة المعادلة كالتالى:

$$E_{\lambda b} = C1 / \lambda^5 (e^{C2/\lambda T} - 1) \qquad (2-5)$$

حيث:

C1 = ٣,٧٤٠٥ × ١٠^-١٦ واط. متر^٢

C2 = ٠,٠١٤٣٨٧٩ متر. درجة مطلقة.

قانون وين:

هو قانون تجريبى يوضح العلاقة بين درجة حرارة الجسم المشع T وطول موجة الإشعاع λ_m. أو بمعنى آخر يوضح طول الموجة المناظر لأقصى شدة إشعاع لجسم أسود. ويمكن الحصول على قانون وين عن طريق تفاضل معادلة بلانك للطيف ومساواتها بالصفر.

$$\frac{dE_{\lambda b}}{d\lambda} = 0.0 \qquad (2-6)$$

وقانون وين هو:

$$\lambda_{max} T = 2897.8 \quad \mu m.k$$

قانون ستافان بولتزمان:

تحسب القدرة الأنبعاثية الكلية لجسم أسود بتكامل معادلة بلانك بالنسبة لجميع الموجات.

$$E_b = \int_0^{\infty} E_{\lambda b}\, d\lambda \qquad (2-7)$$

$$E_b = \sigma T^4 \qquad (2-8)$$

حيث:

σ : ثابت ستافان بولتزمان

= ٥,٦٦٩٧ × ١٠^-٨ واط / متر٢. ك٤

T : درجة حرارة الجسم المطلقة، ك

الإشعاع للجو الخارجي:

يتم تبادل الإشعاع الحرارى بين الأجسام والجو الخارجى تبعاً للعلاقة التالية:

$$Q = \varepsilon A \sigma (T^4 - T_{sky}^4) \qquad (2-9)$$

حيث:

Q : كمية الإشعاع الحرارى

ε : معامل الإنبعاث للجسم

A : مساحة الجسم السطحية

T_{sky} : درجة حرارة الفضاء أو الأجواء الخارجية العليا المطلقة.

T : درجة حرارة الجسم المطلقة.

وهناك علاقات تربط بين درجة حرارة الفضاء الخارجى ودرجة حرارة الهواء المحيط بسطح الأرض منها العلاقة التالية[١٤]:

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5} \qquad (2-10)$$

حيث:

T_a : درجة حرارة الهواء المطلقة والمحيطة بسطح الأرض

وتوضح الجداول أرقام (٣-٢)، (٤-٢)، (٥-٢) بعض بيانات الأرصاد الجوية بالنسبة لدرجات الحرارة العظمى والصغرى والمتوسط الشهرى لعدد من المدن المصرية على الترتيب[٣].

جدول رقم (٣-٢): بيان المتوسط الشهرى لدرجات الحرارة الصغرى لبعض المدن المصرية

الموقع	يناير	فبراير	مارس	إبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
الاسكندرية	٩,٣	٩,٥	١١,٢	١٣,٤	١٦,٥	٢٠,٢	٢٢,٦	٢٢,٨	١١,٢	١٧,٧	١٤,٧	١١,١
مرسى مطروح	٨,١	٨,٤	٩,٧	١١,٨	١٤,٥	١٨,٢	٢٠,٢	٢١,٠	١٩,٧	١٦,٨	١٣,٣	١٠,٠
بورسعيد	١١,٤	١٢,٠	١٣,٦	١٦,٨	١٩,٦	٢٢,٤	٢٤,١	٢٤,٩	٢٣,٨	٢١,٨	١٨,٥	١٣,٦
الاسماعيلية	٧,١	٧,٧	٩,٩	١٣,٠٠	١٦,١	١٩,٥	٢٠,٩	٢١,٢	١٩,٢	١٦,٤	١٢,٨	٨,٩
المنصورة	٧,١	٧,٥	٩,٤	١٢,٠	١٥,٧	١٨,٧	٢٠,٥	٢٠,٦	١٩,١	١٧,٢	١٤,٥	٩,٣
الجيزة	٦,٤	٦,٧	١٠,٢	١٢,١	١٥,٣	١٨,٩	٢٠,٢	٢٠,٤	١٨,٦	١٦,٠	١٢,٣	٨,٣
المنيا	٤,٠	٥,٢	٧,٩	١١,٩	١٦,٤	١٩,٠	٢٠,٣	٢٠,٥	١٨,٦	١٥,٦	١١,٥	٦,٩
أسيوط	٦,٨	٧,٥	١٠,٦	١٤,٩	١٩,٦	٢١,٦	٢٢,٣	٢٢,٤	٢٠,١	١٨,٠	١٢,٨	٨,٨
أسوان	٩,٥	١٠,٦	١٤,٢	١٨,٦	٢٣,٥	٢٥,١	٢٦,١	٢٦,٤	٢٤,٠	٢١,٧	١٦,٥	١٣,٢

جدول رقم (٤-٢): بيان المتوسط الشهرى لدرجات الحرارة العظمى لبعض المدن المصرية

الموقع	يناير	فبراير	مارس	إبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
الاسكندرية	١٨,٥	١٩,٢	٢١,٢	٢٣,٨	٢٦,٦	٢٨,٤	٢٩,٧	٣٠,٦	٢٩,٥	٢٧,٨	٢٤,٥	٢٠,٥
مرسى مطروح	١٨,١	١٨,٩	٢٠,٣	٢٢,٧	٢٥,٥	٢٧,٨	٢٩,٢	٢٩,٩	٢٨,٧	٢٧,٠	٢٣,٤	١٩,٧
بورسعيد	١٨,١	١٨,٦	٢٠,٢	٢٢,٥	٢٥,٦	٢٨,٥	٣٠,٤	٣٠,٨	٢٩,٢	٢٧,٣	٢٤,١	١٩,٨
الاسماعيلية	١٩,٩	٢١,١	٢٣,٩	٢٨,٧	٣١,٢	٣٥,١	٣٥,١	٣٥,١	٣٢,٨	٣٠,٣	٢٥,٧	٢١,٦
المنصورة	١٩,٦	٢٠,٦	٢٣,٣	٢٧,٢	٣٣,٣	٣٣,٧	٣٢,٧	٣٣,٥	٣٢,٦	٢٨,٨	٢٥,٩	٢١,٣
الجيزة	١٩,٥	٢١,٠	٢٤,٣	٢٨,٣	٣١,٨	٣٤,٨	٣٤,٣	٣٤,٤	٣٢,٦	٣٠,٢	٢٠,٤	٢١,٣
المنيا	٢٠,٧	٢٢,٤	٢٥,٨	٣٠,٦	٣٤,٩	٣٦,٤	٣٦,٧	٣٦,٤	٣٣,٤	٣١,٤	٢٦,٨	٢٢,٠
أسيوط	٢٠,٨	٢٢,٦	٢٢,٦	٣١,٨	٣٦,١	٣٧,٧	٣٦,٨	٣٦,٩	٣٤,٩	٣١,١	٢٦,٦	٢٢,٣
أسوان	٢٤,٢	٢٦,٥	٣٠,٧	٣٥,٧	٤٠,٣	٤٢,٠	٤١,٩	٤٢,٠	٤٠,٠	٣٧,٥	٣٢,٧	٢٦,٥

جدول رقم (٥-٢): بيان المتوسط الشهري لدرجات الحرارة المتوسطة لبعض المدن المصرية

الموقع	يناير	فبراير	مارس	إبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
الاسكندرية	١٣,٧	١٤,٢	١٥,٩	١٨,٣	٢١,٤	٢٤,٣	٢٦,٠	٢٦,٦	٢٥,٣	٢٢,٧	١٩,٤	١٥,٥
مرسى مطروح	١٢,٨	١٣,٤	١٤,٩	١٧,٤	٢٠,٢	٢٣,٢	٢٥,٠	٢٥,٦	٢٤,٤	٢١,٨	١٨,٢	١٤,٤
بورسعيد	١٤,٣	١٤,٨	١٦,٤	١٨,٨	٢٢,٠	٢٥,٠	٢٦,٧	٢٧,٤	٢٦,١	٢٤,١	٢٠,٩	١٦,٣
الاسماعيلية	١٢,٧	١٣,٦	١٦,٤	٢٠,٣	٢٣,٢	٢٦,٩	٢٧,٤	٢٧,٥	٢٥,٤	٢٢,٥	١٨,٥	١٤,٤
المنصورة	١١,٩	١٢,٣	١٥,٢	١٧,٧	٢١,٤	٢٥,٦	٢٥,٨	٢٥,٨	٢٤,٠	٢١,٩	١٨,٢	١٣,٧
الجيزة	١٢,٣	١٣,٦	١٦,٤	١٩,٩	٢٣,٣	٢٦,٥	٢٧,٠	٢٦,٨	٢٥,٣	٢٢,٨	١٨,٦	١٤,١
المنيا	١١,٩	١٣,٣	١٦,٦	٢١,٢	٢٥,٧	٢٧,٨	٢٨,٥	٢٨,٣	٢٥,٦	٢٣,٢	١٨,٤	١٣,٧
أسيوط	١٣,٦	١٥,١	١٨,٦	٢٣,٨	٢٧,٦	٣٠,٠	٢٩,٨	٣٠,٤	٢٧,٥	٢٤,٤	١٩,٤	١٥,٢
أسوان	١٦,٨	١٨,٦	٢٢,٤	٢٧,٢	٣١,٩	٣٣,٦	٣٤,٠	٣٤,٢	٣٢,٠	٢٩,٦	٢٤,٠	١٩,٨

الفصل الثالث

خواص الهواء الرطب



الفصل الثالث

خواص الهواء الرطب

مقدمة

يعتبر الإلمام بالخواص الفيزيائية والديناميكا الحرارية لمخلوط من الهواء وبخار الماء مهما بالنسبة للمهتمين بالعمل فى الصوب الزراعية، أو القائمين على تصميم نظم تهيئة البيئة بداخلها. فيتم استخدام المعلومات المتحصل عليها فى تحليل الظروف والعمليات المرتبطة بهذا الهواء. وهناك العديد من القوانين والخرائط التى تستخدم كمقاييس لخواص الهواء الرطب. وقبل التعرض بإيجاز لتلك القوانين، فإنه يجب أولاً تحديد وتعريف الخواص للهواء الرطب.

١- **درجة الحرارة:** توجد ثلاثة أنواع من درجات الحرارة وهم:

أ- **درجة الحرارة الجافة:** يمكن قياسها باستخدام ترمومتر زئبقى جاف يوضع بعيداً عن أشعة الشمس.

ب- **درجة الحرارة الرطبة:** يتم القياس أيضاً باستخدام ترمومتر زئبقى جاف بعد تغطية جزء الترمومتر السفلى بقطعة من القماش أو القطن المبللة بالماء وتعريضها لتيار هوائى ذو سرعة مناسبة. ويتم استخدام الحرارة المحسوسة فى تيار الهواء فى تبخير الماء من القطن المبلل. ويلاحظ أن معدل بخر الماء يتناسب طردياً مع درجة جفاف الهواء. فكلما انخفضت رطوبة الهواء كلما زاد معدل البخر وبالتالى انخفضت درجة الحرارة المقروءة بواسطة الترمومتر.

جـ- **درجة حرارة نقطة الندى:** هى درجة حرارة مخلوط من الهواء وبخار الماء التى عندها يبدأ بخار الماء فى التكثف نتيجة للتبريد

عند نفس نسبة الرطوبة. ويمكن الوصول إلى درجة حرارة نقطة الندى لمخلوط من الهواء وبخار الماء عن طريق دفع ذلك المخلوط فوق سطح معدنى يمكن تبريده. فتكون درجة حرارة نقطة الندى للهواء المبرد هى درجة حرارة السطح المعدنى وذلك عند بدأ ظهور الضباب فوق السطح المعدنى مع عملية التبريد.

٢- **الرطوبة النسبية:** هى ضغط بخار الماء الموجود فى الهواء بالنسبة لضغط بخار الماء عند التشبع عند نفس درجة الحرارة.

٣- **نسبة الرطوبة:** هى كتلة بخار الماء الموجودة فى وحدة الأوزان من الهواء الجاف فى مخلوط من الهواء وبخار الماء.

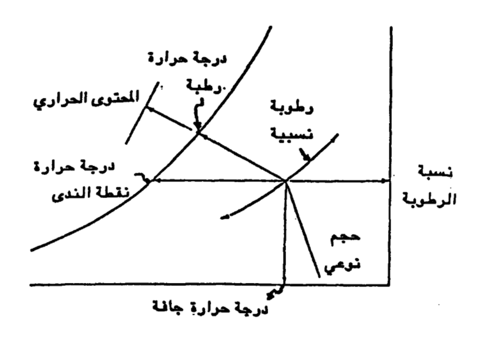
٤- **المحتوى الحرارى:** هو عبارة عن محتوى الطاقة الداخلى لمخلوط من الهواء وبخار الماء، وفى الغالب ما يتم التعبير عنه بوحدات كيلوجول/كجم.

٥- **الحجم النوعى:** هو حجم الهواء المشغول بكمية محددة. وفى الغالب ما يتم التعبير عنه بوحدات متر^3/ كجم.

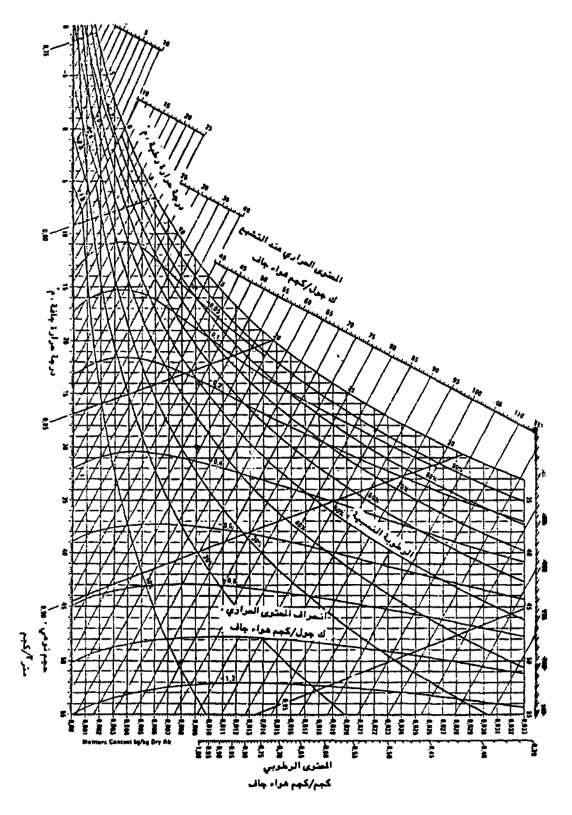
ويمكن تحديد الخواص السابقة لمخلوط من الهواء وبخار الماء باستخدام مجموعة متوالية من القوانين المستنتجة بالنسبة للغاز المثالى، وتطبيقها بدقة مقبولة على عمليات تتضمن مخاليط الهواء وبخار الماء تحت الظروف الطبيعية. وتوجد هذه القوانين مدونة فى العديد من المراجع منها على سبيل المثال لا الحصر (إبراهيم، ١٩٩٧) و Hellickson and Walker (1983). كما يمكن أيضاً تحديد تلك الخواص بسهولة باستخدام الخريطة السيكرومترية. فتوضح الخريطة ـ التى هى عبارة عن تمثيل بيانى لكل من الخواص الطبيعية والحرارية للهواء الرطب ـ كيفية تغير حالة الهواء الرطب نتيجة للتغير الفيزيائى أو نتيجة لحدوث عملية تكييف. وهى أيضاً أداة قيمة

لحل المشاكل الخاصة بتكييف الهواء. وقد أمكن أيضا تطوير مجموعة من البرامج باستخدام الحاسب الآلى لإيجاد خواص الهواء المختلفة.

ويوضح الشكل رقم (١ ، ٣) خريطة سيكرومترية موقعا عليها الخواص الطبيعية والحرارية للهواء. فمثلا توجد درجة الحرارة الجافة على الإحداثى الأفقى وضغط البخار ونسبة الرطوبة على الإحداثى الرأسى، بينما تقع بقية الخواص كما هو موضح على الخريطة. ويمكن تحديد أى نقطة تمثل حالة الهواء على الخريطة بمعلومية أى خاصيتين غير متوازيتين من خواص الهواء. فعلى سبيل المثال - وكما هو موضح بالشكل رقم (٢ ، ٣) إذا كان هناك مخلوط من الهواء وبخار الماء عند درجة حرارة جافة ٣٠°م ورطوبة نسبية ٧٠٪، فإنه يمكن تحديد بقية خواص المخلوط باستخدام الخريطة الموضحة بالشكل رقم (٢ ، ٣) كالتالى:



شكل (٣،١): خواص هواء رطب على خريطة سيكرومترية



شكل (٣،٢): خريطة سيكرومترية عند درجات حرارة طبيعية

درجة الحرارة الرطبة = ٢٥,٥°م

درجة حرارة نقطة الندى = ٢٤°م

الحجم النوعى = ٠,٨٨٧ متر^{٣}/كجم

نسبة الرطوبة = ٠,٠١٨٨ كجم ماء / كجم هواء

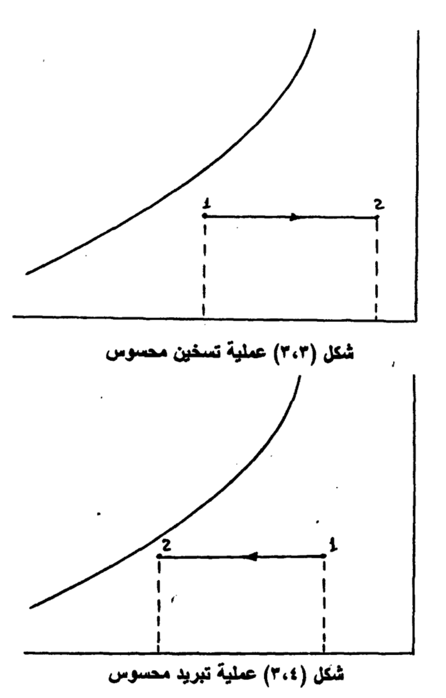
المحتوى الحرارى = ٧٨,٥ ك جول / كجم هواء جاف.

عمليات تكييف الهواء

هناك العديد من العمليات التى يمكن تطبيقها على مخلوط من الهواء وبخار الماء بغية الوصول إلى ظروف محددة للهواء. فهناك العديد من التطبيقات التى تتطلب عملية التدفئة شتاء أو التبريد صيفا أو حتى فى عمليات التجفيف بالنسبة للمنتجات الزراعية. وسوف نستعرض فيما يلى بعض أهم تلك العمليات.

١- **التدفئة:** تعتبر عملية التدفئة من العمليات التى يتم تطبيقها على نطاق واسع وخاصة بالنسبة لمبانى الإنتاج الحيوانى والدواجن والصوب الزراعية وكذلك فى عمليات تجفيف الحاصلات الزراعية. والتدفئة عبارة عن إضافة حرارة للهواء بدون حدوث أى تغير فى نسبة الرطوبة أى تعتبر العملية تسخيناً محسوساً. ويمكن تمثيل تلك العملية على الخريطة السيكرومترية بخط أفقى يتحرك من اليسار إلى اليمين ـ من نقطة ١ إلى نقطة ٢ – وذلك كما هو موضح بالشكل رقم (٣،٣).

٢- **التبريد:** يستخدم التبريد فى إزالة الحرارة سواء من الهواء أو المنتج الزراعى. ويمكن تمثيل عملية التبريد المحسوس بخط أفقى يتحرك فى اتجاه عكسى لعملية التدفئة، أى يتحرك من اليمين إلى اليسار، وذلك كما هو موضح بالشكل رقم (٤ ، ٣). وقد تحتوى عملية التبريد على إزالة حرارة كامنة وذلك عند انخفاض درجة الحرارة الجافة النهائية عن درجة حرارة نقطة الندى وحدوث التكثيف لبخار الماء.

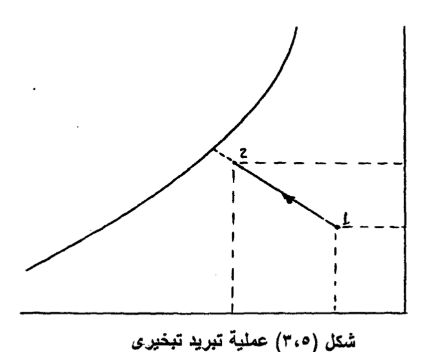


شكل (٣،٣) عملية تسخين محسوس

شكل (٣،٤) عملية تبريد محسوس

٣- **التبريد التبخيرى:** هى عملية يحدث فيها استخدام للحرارة المحسوسة المتاحة فى الهواء فى تبخير الرطوبة من على سطح ماء وبدون أى إضافة أو فقد للحرارة المكتسبة، أى أن العملية تتم عند ثبات المحتوى الحرارى للهواء. ويمكن وصف هذه العملية كما هو موضح بالشكل رقم (٣،٥)على الخريطة السيكرومترية بالخط ١-٢ الواقع تقريباً على خط درجة الحرارة الرطبة. ويلاحظ أنه كلما انخفضت الرطوبة النسبية

للهواء ـ أى كلما كان الهواء جافا - كلما زادت كفاءة عملية التبريد، بينما تقل كفاءة تلك العملية كلما ارتفعت الرطوبة النسبية للهواء - أى كلما كان الهواء رطباً.



شكل (٣،٥) عملية تبريد تبخيرى

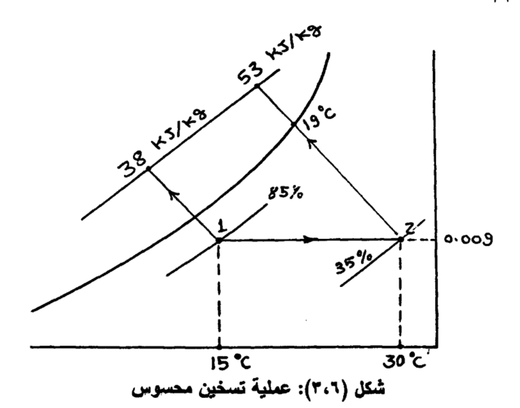
أمثلة محلولة

مثال (١): احسب معدل الحرارة الواجب إضافتها لهواء درجة حرارته ١٥°م ورطوبته النسبية ٨٥٪ وذلك لرفع درجة حرارة الهواء إلى ٣٠°م. احسب أيضاً الظروف النهائية للهواء ـ افترض أن معدل الهواء المستخدم ١٢٠متر³/ دقيقة.

الحل:

تعتبر هذه العملية تسخين محسوس حيث يتم التحرك أفقياً من نقطة (١) إلى نقطة (٢) وذلك كما هو موضح بالشكل رقم (٦ ، ٣). ويمكن حساب كمية الحرارة المراد إضافتها كالآتى:

$$Q = m(h_2 - h_1)$$



شكل (٣،٦): عملية تسخين محسوس

حيث:

Q : معدل الحرارة المضاف، ك. واط

m : معدل الهواء المستخدم، كجم/ث.

h_2, h_1: المحتوى الحرارى للهواء، ك جول / كجم.

ولحساب معدل التهوية بوحدات الأوزان، فإنه لابد من معرفة الحجم النوعى للهواء عند بداية عملية التسخين.

ونجد من الخريطة السيكرومترية أن ظروف الهواء هى:

نقطة ١:

$T_1 = 30\ ^oC$, $RH_1 = 85\ \%$, $\upsilon = 0.83\ m^3 / kg$
$h_1 = 38\ kj / kg$

نقطة ٢:

$T_2 = 30\ ^oC$, $h_2 = 53\ kj / kg$

وعليه فإن كمية الحرارة المضافة إلى الهواء تكون:

$$Q = 120\left(\frac{m^3}{min}\right) \times \frac{1}{60\left(\frac{s}{min}\right)} \times \frac{1}{0.83\left(\frac{m^3}{kg}\right)} (53 \quad 38)\left(\frac{kj}{kg}\right)$$

$$= 36.15\, kj/s$$
$$= 36.15\ kW$$

وتكون ظروف الهواء عند نقطة ٢ كالآتي:

درجة حرارة الهواء الجافة T_{db} = ٣٠°م

درجة حرارة الهواء الرطبة T_{wb} = ١٩°م

درجة حرارة نقطة الندى T_{dp} = ١٢,٥°م

نسبة الرطوبة = ٠,٠٠٩ كجم ماء/كجم هواء جاف

الرطوبة النسبية = ٣٥٪

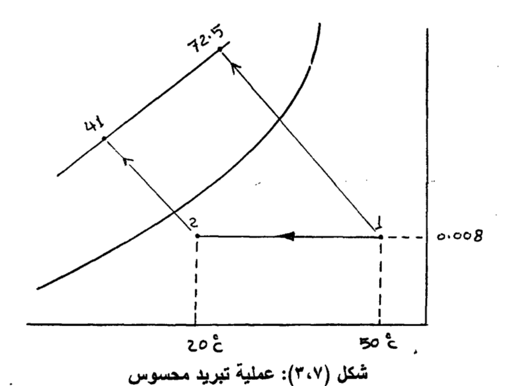
المحتوى الحرارى (الإنثالبى) = ٥٣ ك جول/ كجم

الحجم النوعى = ٠,٨٧ متر^٣/ كجم.

مثال (٢): احسب كمية الحرارة المزالة نتيجة لعملية تبريد محسوس (أى بدون أى تغير للمحتوى الرطوبى) لهواء معدل استخدامه ٥ متر^٣ / ثانية عند درجة حرارة ابتدائية ٥٠°م ونسبة رطوبة ٨ جرام ماء / كجم هواء علما بأن الهواء يخرج عند ٢٠°م.

الحل:

يمكن وصف عملية التبريد المحسوس بالخط الأفقى من نقطة (١) إلى نقطة (٢) وذلك كما هو موضح بالشكل رقم (٧ ، ٣). ولإيجاد كمية الحرارة المزالة، فإنه يستلزم معرفة الحجم النوعى للهواء عند نقطة البداية وكذلك المحتوى الحرارى للهواء عند كل من البداية والنهاية. فنجد من الخريطة السيكرومترية أن:



شكل (٣،٧): عملية تبريد محسوس

الحجم النوعى υ = ٠,٩٣ متر^٣^/كجم

المحتوى الحرارى الإبتدائى h_1 = ٧٢,٥ ك جول/ كجم.

المحتوى الحرارى النهائى h_2 = ٤١ ك جول / كجم

وعليه تكون كمية الحرارة المزالة:

$$Q=\left(\frac{V}{\upsilon}\right)(h_2-h_1)$$

$$=\frac{5\left(\frac{m^3}{s}\right)}{0.93\left(\frac{m^3}{kg}\right)}(41-72.5)\,\frac{kj}{kg}$$

$$=-\ 169.4\ kj/s$$

$$169.4\ kW$$

وتوضح الإشارة السالبة أن العملية تعنى إزالة للحرارة وليست عملية إضافة.

مثال (٣): هواء درجة حرارته الجافة ورطوبته النسبية ٤٥°م و ١٥٪ على الترتيب. يتم دفعه على وسادة مبللة بالماء بمعدل ٣ متر مكعب فى الثانية. فإذا كانت كفاءة المبرد التبخيرى ٨٥٪، احسب ظروف الهواء الخارجة من المبرد وكذلك معدل بخار الماء المضاف للهواء.

الحل:

تعتبر عملية التبريد التبخيرى عملية أدياباتية أى تقع تقريبا على خط درجة الحرارة الرطبة وذلك كما هو موضح بالشكل رقم (٨ ، ٣). وتعرف كفاءة المبرد التبخيرى E_c كالآتى:

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{أ جـ}}{\text{أ ب}}$$

أ : خصائص الهواء الخارجى أو عند دخوله المبرد أو الوسادة.

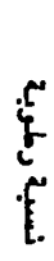
ب : خصائص الهواء فى حالة خروجه مشبعاً.

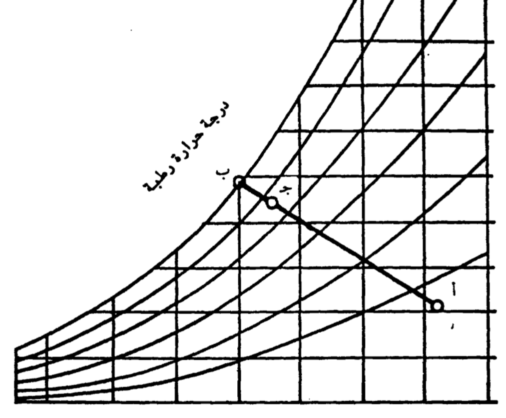
جـ : خصائص الهواء عند أى نقطة قبل الوصول إلى حالة التشبع.

ويوضح الشكل رقم (٩ ، ٣) خصائص الهواء عند كل من النقط أ (الدخول) و ب (الخروج). ويتضح من الشكل أن:

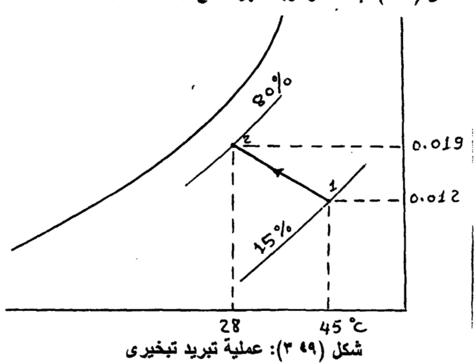
$$٠,٨٥ = \frac{٤٥ - \text{جـ}}{٤٥ - ٢٥}$$

∴ جـ = ٢٨°م





شكل (٣،٨): إضافة رطوبة للهواء مع ثبات المحتوى الحرارى



شكل (٣ ٩): عملية تبريد تبخيرى

ونجد من الخريطة السيكرومترية أن الهواء يخرج عند رطوبة نسبية حوالى ٨٠٪.

أى أن ظروف الهواء الخارجة من وسادة التبريد هما ٢٨°م لدرجة الحرارة و ٨٠٪ رطوبة نسبية. ولتحديد معدل بخار الماء المضاف للهواء، فإنه لابد من معرفة نسبة رطوبة الهواء عند كل من الدخول والخروج. ونجد من الخريطة أن نسبة رطوبة الهواء عند كل من الدخول والخروج ٠,٠١٢ و ٠,٠١٩ كجم ماء/ كجم هواء على الترتيب. وعليه فإن معدل بخار الماء المضاف W يكون:

$$W = m(H_2 - H_1)$$

حيث:

m : معدل هواء التهوية كجم / ث

H_2 : نسبة رطوبة الهواء عند الخروج.

H_1 : نسبة رطوبة الهواء عند الدخول.

ونجد من الخريطة أن الحجم النوعى عند دخول الهواء يعادل ٠,٩٢ متر٣ / كجم.

$$\therefore W = \frac{3\left(\frac{m^3}{s}\right)}{0.92\left(\frac{m^3}{kg}\right)}(0.019 - 0.012)\frac{kg_w}{kg}$$

$$= 0.0228\ \ kg_w / s$$



الفصل الرابع

الصوب الزراعية



الفصل الرابع

الصوب الزراعية

مقدمة

الصوبة الزراعية ـ أو البيت الزراعى المحمى أو الدفيئة ـ عبارة عن هياكل ذات أسقف مرتفعة تسمح بالسير بداخلها ومغطاة بمادة نافذة للضوء، وفيها يتم استغلال طاقة الإشعاع بالإضافة إلى التحكم فى العوامل البيئية التى تؤثر على نمو النبات وإنتاجه. ولتبسيط مفهوم الصوبة الزراعية يمكن أن يقال أنها عبارة عن مجمع للإشعاع الشمسى وفيها تعتبر البيئة مثالية لإنبات وإنتاج الخضر ونباتات الزينة. فيحدث مع استخدام الوسائل المختلفة لتكييف الصوبة توافراً بالنسبة للظروف البيئية المناسبة لنمو الزرع بداخلها من درجة حرارة ورطوبة وتهوية وشدة إضاءة. كما يتم أيضاً داخل الصوبة العناية بكل من بيئة نمو الجذور وتغذية النبات.

وقد يبلغ الإنتاج داخل الصوب الزراعية أضعاف الإنتاج من الحقل المفتوح. وبالرغم من أن قيمة الاستثمارات فى الصوب الزراعية مرتفعة، إلا أن هناك ما يبررها، نظراً لارتفاع أسعار المنتجات التى تزرع فيها فى معظم الأحيان، كما أن فترة استغلال الصوب الزراعية على مدار العام تقلل من التكلفة السنوية للصوبة. وتعد زراعة بعض محاصيل الخضر من أهم الاستخدامات الشائعة للصوب الزراعية إلى جانب زراعة نباتات الزينة، وكذلك إنتاج شتلات الخضر والفاكهة. وقد تستخدم الصوب الزراعية أيضاً لأغراض التجارب والأبحاث الزراعية. وقد تكون الأغطية المستخدمة فى الصوب الزراعية زجاجية أو بلاستيكية. وهناك أنواع عديدة من تصميمات الصوب الزراعية.

أنواع الصوب الزراعية:

يعتبر كيفية الحصول على أقصى معدل للإشعاع الشمسى مع تغطية أكبر مساحة أرضية وبأقل تكاليف من أهم الاعتبارات الهندسية التى يجب أخذها عند تصميم الصوب الزراعية. وقد اتضح بالنسبة لأسقف البيوت ذات القمم المدببة أو الجملونية أن أشعة الشمس تنفذ بدرجة ملاءمة إذا ما كانت زاوية مثلث القمة حوالى ٣٥°م[٣]. وقد اتضح بعد ذلك أن أفضل ما ينفذ أشعة الشمس هو السقف المنحنى أو نصف دائرى. وعامة تنقسم الصوب الزراعية إلى نوعين أساسيين هما:

أ- الصوب المفردة

ب- الصوب الأخدودية

وسوف نتطرق بقليل من التفصيل إلى كل نوع من تلك النوعين.

أ- الصوب الزراعية المفردة

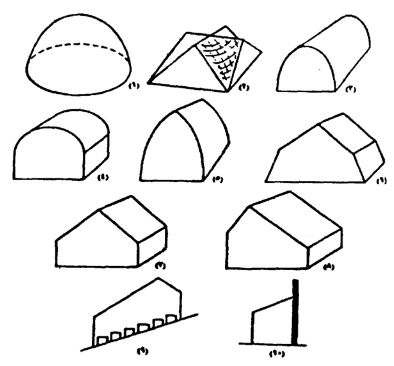
يوضح الشكل رقم (٤،١) عدة أنماط من تصميمات الصوب الزراعية المفردة والتى يمكن حصرها فى الأنواع التالية:[٦]

١- صوب ذات مقطع جزء من دائرة أو أنفاق زجاجية.

٢- صوب تأخذ الشكل الأهليجى أو العقد الغوطى.

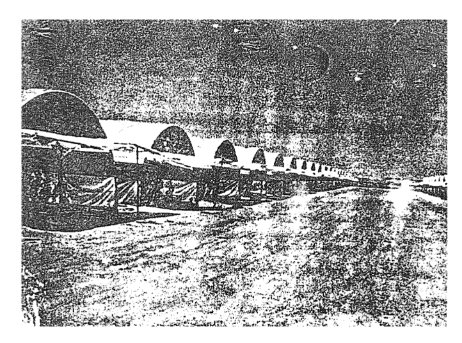
٣- صوب تأخذ الأشكال الجمالونية سواء مستوية أو غير مستوية الجوانب.

وتمثل الأنفاق الزجاجية أو البلاستيكية أبسط الأنماط من التصميمات. ويتفاوت عرض تلك الأنفاق من ٣ - ٩ أمتار. ولا يتعدى الحد الأقصى لارتفاع تلك الأنفاق ٣,٥ متراً - الأشكال أرقام (٤،٢) و (٤،٣)، ويتم تشييد هيكل النفق من الأخشاب أو المواسير المجلفنة أو الألومنيوم، بينما يستخدم البلاستيك أو الفيبر جلاس كمواد أغطية للصوبة.

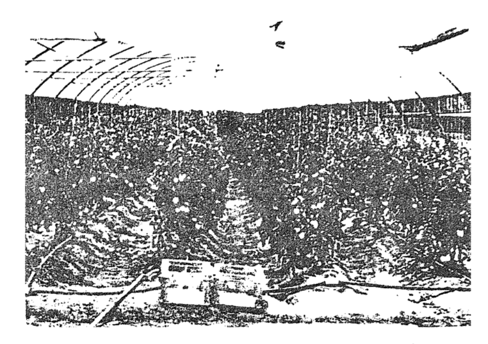


شكل (٤،١): الأشكال الهندسية للصوب الزراعية المفردة:

١- القبة الكروية ٢- المكافئ الدوراني الزائد المقطع ٣- النصف دائرى
٤- الأهليجى أو [illegible] ٥- العقد القوطى ٦- السقف السندى
٧- الجمالونى متناظر الانحدار ٨- الجمالونى غير متناظر الانحدار
٩- الجمالونى غير متناظر الانحدار على منحدر جبلى ١٠- المستند إلى مبنى



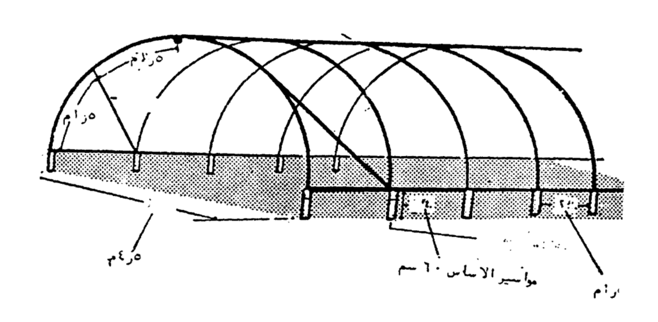
شكل (٤،٢): صورة شاملة لمجموعة من الانفاق البلاستيكية المستخدمة لإنتاج الطماطم

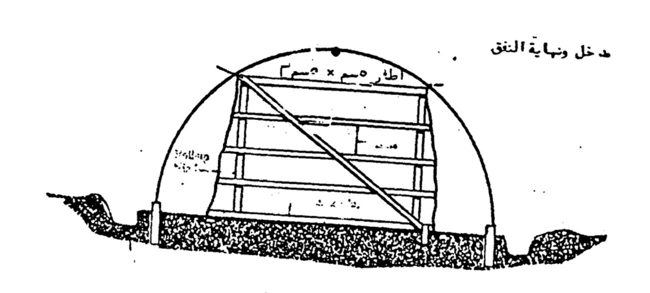


شكل (٤،٣): أحد الانفاق البلاستيكية بها نباتات طماطم مرباة رأسيا وتروى بالتنقيط

وتتراوح أقطار الأقواس المصنوعة من المواسير المجلفنة من ٢-٥سم. وتتوالى هذه الأقواس كل حوالى ثلاثة أمتار حتى نهاية النفق. ويتم تقوية هيكل النفق أيضاً بمد ماسورتان بطول النفق فوق سطح الأرض على الجانبين، كما يلحم مع كل منهما الأطراف السفلى للأقواس. ويتم أيضاً تثبيت ماسورة أخرى بطول النفق مارة بوسط الأقواس وماسورتان على جانبى الماسورة الوسطى[٣]. ويوضح الشكل رقم (٤،٤) هيكلاً للنفق. وتستخدم الأنفاق لزراعة خضر نبتتها صغيرة الحجم قصيرة القامة مثل الخس والفراولة والشمام والبطيخ. كما تستعمل أيضاً فى المرحلة الأولى لتربية شتلات النباتات طويلة القامة مثل الطماطم والفلفل.

وتمتاز الصوب التى تبنى على شكل عقد غوطى عن الأنفاق فى زيادة ارتفاع الهيكل عن سطح الأرض مما يسهل استعمال الطاولات داخل الصوبة. كما يساعد شدة انحدار السقف على سهولة التخلص من الترسبات التى قد تتراكم على سطح الصوبة بفعل الزمن.





شكل (٤،٤): منظر عام لهيكل النفق وقطاع جانبى

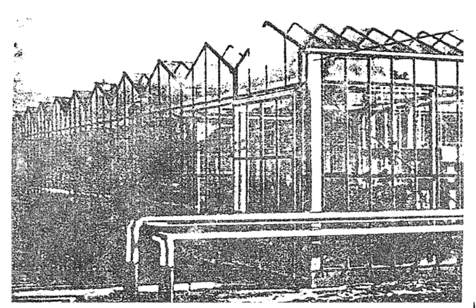
ويعتمد اختيار التصميم الملاءم للصوبة الزراعية على عدة عوامل أهمها المعيار الاقتصادى ونوعية المحصول المنتج. فتستخدم الأنفاق البلاستيكية غالباً بمساحات (٤ × ٤٠ مترا وبارتفاع ٢ متر) لإنتاج الفلفل والطماطم، بينما يفضل استخدام الصوب الزراعية المفردة ذات المساحات ٤ × ٥٠ متراً وبارتفاع ٣,٢ مترا لإنتاج الخيار والشمام[٤]. وجدير بالذكر أن أغلب الصوب الزراعية بمصر ذات مساحة حوالى ٥٠٠ متر مربع.

وتصمم الصوب الجمالونية بحيث تكون الأسطح منتظمة أو على شكل أقواس. ويجب أن يراعى فى تصميم تلك الصوب تقليل الروافد بقدر الإمكان للسماح بدخول أقصى كمية طاقة ممكنة. وغالباً ما يكون انحدار الجمالون حوالى ٦ : ١٢. وغالباً ما يستخدم الزجاج كغطاء بالنسبة للصوب الزجاجية المنتظمة السطح، بينما يتم استخدام البلاستيك مع التصميمات القوسية، أو بمعنى آخر نجد أن بسط الأغطية على سطوح منحنية أسهل منه على سطوح منكسرة.

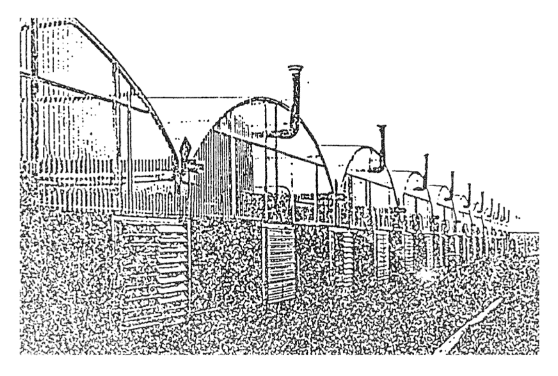
ب- الصوب الزراعية الأخدودية المتلاحقة

عبارة عن مجموعة من الصوب المتجاورة مع بعضها البعض. وغالباً ما تأخذ تلك الصوب الأشكال الجمالونية أو نصف الدائرية. وغالباً أيضاً ما يكون عرض الصوبة الواحدة فى المدى من ٣ - ٨ مترا، بينما يكون الإرتفاع تحت الأخدود فى حدود ٢,٥ متراً تقريباً. ويوضح الشكل رقم (٥أ،٤) و (٥ب،٤) تلك الأنواع من الصوب.

وتمتاز الصوب الأخدودية عن الصوب المفردة بالقدرة على تغطية مساحة أكبر بأقل عدد من الحوائط وبالتالى تقليل الفاقد من الحرارة. كما أن هناك سهولة فى الحركة داخل المبنى الواحد. ولكن يعاب على تصميم تلك



(٥أ،٤): مجموعة من الصوب الزجاجية المتصلة على شكل المرتفعات والأخاديد أو الخطوط والقنوات والمكونة من مجموعة بيوت ذات الشكل الجمالونى متناظر الانحدار



شكل (٥ب،٤): صوب زراعية مزرابية

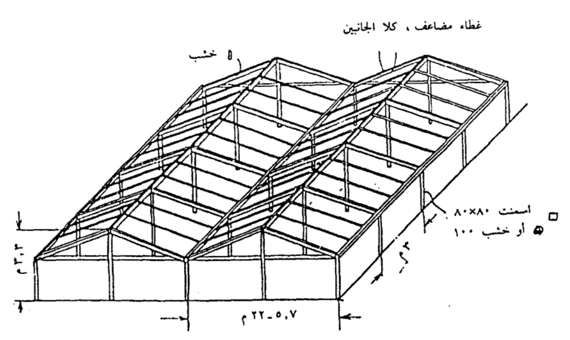
الأنواع زيادة الظل داخل الصوب نتيجة لالتصاقهم مع بعضهم البعض. كما يعاب على البيوت الجملونية المتلاحقة عدم كفاية التهوية. فينبغي أن يتراوح عرض الصوبة الواحدة في النظام المتلاحق بين ٥ - ٨ مترا بحيث لايتجاوز العرض الكلي لمجموعة الصوب المتلاحقة والمؤلفة من ٣ - ٦ صوبه ٣٠ متراً[٧]. وكما ذكر سابقاً فإن التهوية هي العامل الوحيد الذي يتحكم في عرض الوحدات وعددها. ويمثل عرض الجملون الواحد من ٥ - ٨ أمتار والمسافة بين الدعامات ٣ أمتار وإرتفاع الصوبة من ٢ -٣ متراً الأبعاد المثلى لهيكل الصوبة. وقد يتطلب الأمر الحاجة إلى العديد من الركائز.. الأمر الذي قد يتعارض مع إجراء العمليات الزراعية داخل الصوبة. ونظراً لعدم كفاية الضوء النافذ، فإنه يجب عند تركيب الصوب أن يتم التوجيه نحو الجهة الجنوبية أو الجنوبية - الشرقية لإتاحة أكبر قدر من الطاقة الشمسية اللازمة للنضج المبكر وزيادة الإنتاجية.

المواد المستخدمة في إنشاء الصوب

أولاً: الهياكل

تتألف من قسمين متميزين هما الأساس أو الحوامل بالإضافة إلى الأسقف. وتصنع هياكل الصوب من مواد عديدة أهمها:

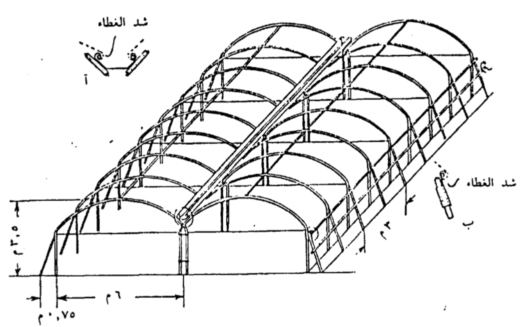
١ - **الخشب**: تعتبر الأخشاب من أول المواد استخداما في صنع هياكل الصوبة. ويوضح الشكل رقم (٦ ، ٤) صوب جمالونية ذات هياكل خشبية. ويجب مراعاة استخدام الأنواع الجيدة من الأخشاب والمقاومة للرطوبة، نظراً لارتفاع الرطوبة النسبية داخل الصوبة. وتعتبر الصوب الجمالونية المصنوعة من الأخشاب المعالجة بيوتاً ملائمة. ولكن يجب تجنب معالجة الأخشاب بمنتجات سامة للنباتات. ويمكن معالجة الأخشاب تحت الضغط بمستحضرات كيميائية خاصة.



شكل (٤،٦): هيكل خشبى لصوبة يتم تغطيته بغطاء مضاعف

٢- **الحديد:** شائع الاستخدام بعد طلاءه بمادة مانعة للصدأ. وقد يجلفن الفولاذ أيضاً ويطلى لمقاومة التآكل (الشكل رقم ٤،٧). وينبغى حفر أساسات عميقة لدعامات الجدران الجانبية لتحملها لضغوط الرياح.

وقد يستخدم الخشب والأنابيب الفولاذية معاً فى بناء هيكل الصوبة الزراعية. فيتم صنع الهياكل الرئيسية من أعمدة أو دعائم خشبية أو معدنية، بينما يكون سطح الهيكل – الذى فى الغالب يأخذ شكل السقف المقوس ـ من الأنابيب الفولاذية. ويعتبر استخدام الهياكل الفولاذية فى الأنفاق ذات الأسطح المقوسة المستديرة، أو المقوسة المضلعة أكثر ملاءمة من الاستخدام مع السطوح الجملونية.



شكل (٤،٧): هيكل صوبة مصنوع من الأنابيب الفولاذية

٣- **الألمنيوم:** له خاصية مقاومة التآكل. وقد اكتسب قبولاً عاماً فى الاستعمال فى هياكل الصوب الزراعية. وتعتبر مادة الألومنيوم من المواد الخفيفة سهلة الاستخدام ولاتتأثر بأغلب العمليات التى تجرى داخل الصوبة. وقد يحدث صدأ لبعض أجزاء من الهيكل المشيد من الألومنيوم عند الأجزاء الملامسة للمواد الخرسانية أو التربة خاصة فى حالة وجود الأسمدة، وكذلك عند أُحتكاك الأجزاء المصنوعة من الألومنيوم مع بعضها البعض. وهناك بعض التعليمات الخاصة بتجميع هيكل الصوبة الزراعية يمكن تلخيصها فى التالى[٧]:

١- يمكن استخدام قواعد صغيرة بالنسبة لأساس الهيكل يتراوح سمكها من ١٠ - ٢٠سم وبعمق يتراوح من ٦٠ - ٧٠سم.

٢- يتم غرز الأعمدة الفولاذية أو الخشبية فى الأساس الأسمنتى.

٣- يتم وصل رؤوس الأعمدة مع بعضها البعض على طول المحور الجانبى بواسطة قضبان فولاذية بقطر حوالى ١٢ملم.

٤- يثبت هيكل السطح مع الهيكل الأساسى ويربط مع الأعمدة.

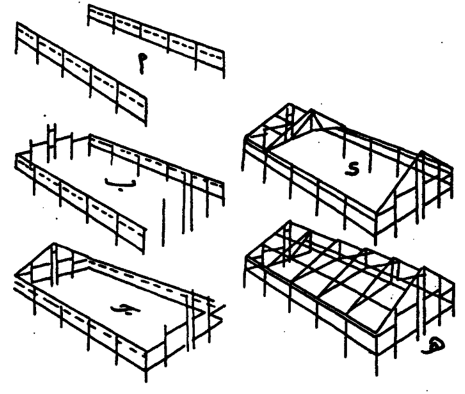
وقد يحدث صدأ لبعض أجزاء من الهيكل المشيد من الألمونيوم عند الأجزاء الملامسة للمواد الخرسانية أو التربة خاصة فى حالة وجود الأسمدة وكذلك عند احتكاك الأجزاء المصنوعة من الألمونيوم مع بعضها البعض. ويوضح الشكل رقم (٤،٨) خطوات إنشاء صوبة زراعية[٣].

ثانياً: الأغطية

كانت مادة الزجاج حتى عهد قريب هى المادة الوحيدة المستعملة فى أغطية الصوب الزراعية. ولكن ظهرت مع التقدم التقنى مواد بديلة للزجاج وعلى درجة عالية من الكفاءة مثل الألياف الزجاجية والمواد البلاستيكية. وقد امتازت تلك المواد بسهولة التركيب على الهياكل المختلفة الأشكال مع قلة التكلفة. وهناك أيضاً سبب أهم وهو خاصية الإمرار للضوء بكفاءة عالية مما جعلها تلقى قبولاً واسعاً.

وتمتاز الصوب البلاستيكية عن الزجاجية فى انخفاض تكلفة الإنشاء إلى عُشر ($\frac{١}{١٠}$) تكاليف إقامة صوبة زجاجية لها نفس المساحة. ويمكن باستخدام الأغطية البلاستيكية تشكيل هيكل صوبة ذا مقطع نصف دائرى بما يسمح بنفاذ أكبر قدر من أشعة الشمس، بينما لايمكن تحقيق ذلك فى الصوب الزجاجية[٦]. كما تمتاز الصوب البلاستيكية بأنها محكمة الغلق، بينما يؤدى وجود الفواصل بين الألواح الزجاجية إلى تسرب الهواء الدافئ ودخول هواء بارد بما يزيد من تكلفة طاقة التدفئة المطلوبة شتاءً.

وتتميز الصوب الزجاجية عن الصوب البلاستيكية بأنها غير منفذة للأشعة تحت الحمراء أى أنها تحتفظ بالحرارة المشعة من أرض الصوبة ليلاً، بينما تعتبر أغطية البولى إيثيلين هى الوحيدة المنفذة للأشعة تحت الحمراء. كما أن الصوب الزجاجية أقل تأثرا بالرياح من الصوب البلاستيكية.



شكل (٨-٤): خطوات إنشاء صوبة زراعية

وعامة يمكن تلخيص أهم الخصائص التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند اختيار أى من الأغطية كالتالى[٦]:

١- **النفاذية للضوء:** يفضل استخدام المواد ذات النفاذية العالية للضوء وخاصة فى المناطق الملبدة بالغيوم معظم أيام السنة، بينما يفضل استخدام المواد الأقل نفاذية فى المناطق الحارة ذات شدة إضاءة عالية طول العام.

٢- **النفاذية للأشعة تحت الحمراء:** استعمال أغطية غير منفذة لتلك الأشعة تساعد على حفظ الصوبة دافئة أثناء الليل حيث تنبعث تلك الأشعة من التربة والأجسام الصلبة داخل الصوبة من جراء الحرارة المكتسبة أثناء النهار.

٣- **النفاذية للأشعة فوق البنفسجية:** وهذا العامل أقل أهمية.. حيث تزداد أهميته فقط فى المناطق المرتفعة التى تزيد فيها شدة الأشعة فوق

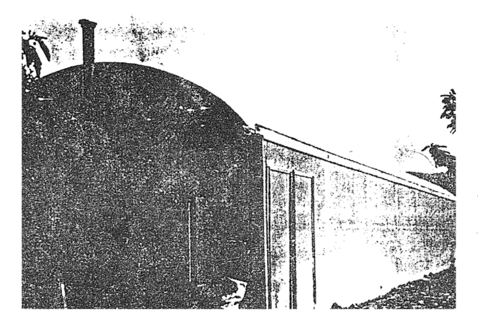
البنفسجية، مما يستلزم استعمال أغطية غير منفذة لتقليل إصابة النباتات بلفحة الشمس.

ويفضل عند تركيب الأغطية أن يبدأ بتركيب أغطية السقف أولا بدءا من الجهة التى تهب نحوها الرياح، ثم يتم بعد ذلك تركيب الأغطية والجوانب للأطراف الأخرى غير المقابلة لجهة الرياح. ويمكن بهذه الطريقة أن نتجنب تلف الأغطية وكذلك إنتفاخها فى حالة هبوب رياح عاتية. ويوضح الجدول رقم (١ ، ٤) مقارنة بين المواد المختلفة والمستخدمة كأغطية للصوب الزراعية.

ويتضح مما سبق أن جميع الأغطية البلاستيكية تتلف من الضوء. فتتأثر معظم تلك الأغشية بالأشعة فوق البنفسجية ما لم يضف إلى هذه الأغشية مواد لامتصاصها وتثبيت الغشاء، وإلا تتحول تلك الأغشية إلى مواد قصفة سهلة التمزق. ويلاحظ أيضاً تلف الأغشية - حتى ولو كانت مثبتة - عند مساحات تلامسها مع هياكل البيت المعدنية. ويرجع السبب فى ذلك إلى ارتفاع درجات حرارة الأغشية عند تلك المساحات. ولتقليل احتمالات التلف السريع، يقترح طلاء هيكل الصوبة باللون الأبيض وكذلك طلاء السطح الخارجى للغطاء نفسه عند مساحات التلامس.

جدول (١، ٤) مميزات وعيوب المواد المستخدمة فى أغطية الصوب الزراعية:

المادة	المميزات	العيوب
الزجاج	- نفاذية عالية للضوء (٩٠٪) - أطول عمرا. - تزداد مقاومته للكسر فى حالة استخدام ألواح مزدوجة. - غير منفذ للأشعة فوق البنفسجية التى تصيب النباتات بلفحة الشمس.	- سهل الكسر - اهتمام دائم بالصيانة مع مرور الزمن وخاصة فى عملية سد الفراغات بين ألواح الزجاج وأجزاء الهيكل.
الألياف الزجاجية شكل رقم (٩،٤)	- قوة تحمل أعلى للصدمات. - عمر أفتراضى أطول من الأغشية البلاستيكية. - نفاذية للإشعاع الحرارى أقل بكثير من الزجاج. - أجزاء هيكلية أقل عما فى حالة استخدام الزجاج. - تكاليف صيانة منخفضة.	- معامل نفاذية يبلغ حوالى ٦٢ - ٧٧٪. - تكثف المياه على السطح الداخلى يقلل من نفاذية الضوء ويؤدى إلى تساقط قطرات الماء على المزروعات.
أغشية البولى إيثيلين	- نفاذية مرتفعة للضوء (٨٨-٩٢٪). - غشاء قوى الاحتمال. - يمكن إطالة عمره الافتراضى بإضافة بعض المواد المغنية لامتصاص الأشعة فوق البنفسجية مما يؤخر من تحلله. - لا ينفذ السوائل ولا يتعفن ولا يتأثر بالأحماض أو الأسمدة أو الكيماويات الزراعية.	- غير فاعلة فى حجب الإشعاع الحرارى أثناء الليل من داخل الصوبة إلى خارجها. - يبلى بعد عام ويجب تغييره وذلك نتيجة للتلف الناتج عن الأشعة الشمسية فوق البنفسجية.
الأغشية الأكريلية	- غاية الشفافية حيث تبلغ النفاذية حوالى ٩٥٪. - مقاومة عالية فى تحمل الصدمات. - مقاومة للأحماض والكيماويات. - يمتص الأشعة تحت الحمراء أى معامل نفاذيته منخفضة وبالتالى تحتفظ الصوبة بحرارتها ليلا.	- مكلفة للغاية وذلك بالمقارنة بالزجاج. - تناقص متانة الغطاء بتأثير الأشعاع الشمسى والاحتكاك بالهيكل.



شكل (٤،٩): صوبة زراعية ذو غطاء من الألياف الزجاجية

وتعتبر خصائص مادة الغطاء مهمة للغاية وخاصــة النفاذيـة لكـل مـن الإشعاع الشمسى والإشعاع الحـرارى وكذلـك معـامل النقـل الحـرارى الكلـى. فنجد ـ بالنسبة للنفاذية للإشعاع الشمسى ـ أنه لابد وأن تكون مادة الغطاء ذات نسبة نفاذية مرتفعة وخاصة فـى فصـل الشـتاء حيث تمثـل تلـك الطاقـة حمـل التدفئة الأساسى.

ويوضـح الجـدول رقـم (٢ ، ٤) معـامل النفاذيـة لأنـواع مختـارة مـن الأغطية المستخدمة فى الصـوب الزراعيـة[١٣]. وتعكـس تلـك القيـم معـاملات النفاذية الكلية للطاقة الشمسـية سـواء المباشـرة أو غـير المباشـرة. وقـد يكـون لزاويـة سـقوط الأشـعة تـأثير علـى كميـة الطاقـة الشمسية المخترقـة لجـدران الغطاء وخاصة عند زوايا سقوط أكبر من ٦٠ درجة. ويوضح الجدول أيضـا معامل نفاذية المواد للإشعاع الحـرارى. فهنـاك تبـادل إشـعاعى بيـن كـل مـن أرضية الصوبة ومادة النباتات مع الفضـاء الخـارجى. ويمكـن ان يقلـل تكثـف

بخار الماء على مادة الغطاء من ذلك المعامل. وكما هو واضح من الجدول فإن ذلك المعامل منخفض نسبيا لمعظم المواد باستثناء مادة البولى ايثلين.

ويعتبر معامل النقل الحرارى الكلى (U) أحد خصائص مادة الغطاء المهمة التى بها يتم حساب الحرارة المفقودة أو المكتسبة من خلال جدران الصوبة. ويوضح الجدول رقم (٤،٣) قيم تلك المعاملات لأنواع أغطية مختلفة[٩]. وقد تم فرض سرعة رياح خارج الصوبة ١٢ (كم/ساعة) عند إيجاد تلك القيم. كما تم فرض أن الهواء داخل الصوبة فى حالة سكون. وقد اعتبرت قيم تلك الجدول ملائمة لتصميم نظم التهوية

جدول (٢ ، ٤): نسب إمرار الإشعاع الشمسى والحرارى خلال أنواع مختلفة من الأغطية

نوع الطبقة	المتوسط اليومى للإمرار الشمسى		الإمرار الحرارى
	طبقة واحدة	طبقتين*	طبقة واحدة
بولى إيثلين (٠,١مم)	٨٩	٧٩	٨٠
ألياف زجاجية، منبسطة (٠,٦٤مم)	٨٣	٧٠	١٢
ألياف زجاجية، محسنة (١,٠٢مم)	٧٣	٥٠	٦
بولى أستر، مقاوم لظروف الجو (٠,١٣مم)	٨٧	٧٨	٣٢
ألياف زجاجية، معرجة (١,٠٢مم)	٧٩	٦٢	٨
زجاج (٣,١٨مم)	٨٨	٧٨	٣
كربونات متعدد (١,٥٩مم)	٨٤	٧٣	٦
بول فينيل كلوريد (٠,٠٨مم)	٩١	٨٤	٤٣

* يمكن الحصول على معامل الإمرار خلال أى تركيبه من مادتين مختلفتين من نفس المرجع[١٣].

جدول (٤.٣) معاملات انتقال حرارة تقريبية لمواد أغطية الصوب الزراعية.

غطاء الصوبة	قيمة U واط/(م٢.°م)
طبقة زجاج (محكم)	٦,٣
طبقة بلاستيك	٦,٨
طبقة من الألياف الزجاجية	٦,٨
طبقة مزدوجة من البلاستيك والبولى إيثلين	٤
طبقة مزدوجة من الحرير الصناعى المقسى	٣
طبقة مزدوجة من البلاستيك فوق الزجاج	٣
طبقة زجاج مع بطانة حرارية	٣
طبقة مزدوجة من الزجاج	٣
طبقة بلاستيك مزدوجة مع بطانة حرارية	٢,٥

وتعتمد الفترة التى تقضيها مادة الغطاء فى تأدية الغرض على قوة مقاومة المادة للتقلبات الجوية. ويؤدى تأثير التقلبات الجوية (التجوية Weathering) على أغطية الصوب الزراعية إلى الآتى[٣]:

١- التدهور فى الخواص الضوئية:

لما كانت المواد البلاستيكية مواد عضوية فهى معرضة للأشعة فوق البنفسجية مما يؤدى إلى تلفها وتغير لونها، وعلى ذلك فيجب استخدام المواد العضوية التى لها القدرة على احتجاز وامتصاص تلك الأشعة حتى يتم حماية الألواح والتقليل من تغير لونها.

٢- الأكسدة:

تتأثر المواد العضوية بالأوكسجين، إذ تتم عملية الأكسدة. وتصبح المواد البلاستيكية عند الأكسدة قصمة أو هشة.

٣- تعرية السطح:

تحدث إزالة للطبقة السطحية بفعل الرياح والرطوبة وكذلك الأتربة، فيحدث تعرية لطبقة الألياف ويتشقق السطح وتظهر الثقوب. ويتخلل التراب الألواح وتزيد مشكلة عدم نفاذية الضوء خلال اللوح.

٤- تأثير الحرارة:

يؤدى ارتفاع درجة الحرارة والتى قد تصل فى سطح الصوبة الى أقصاها وتغايرها كذلك من نقطة لأخرى على سطح الغطاء إلى التشقق نتيجة التمدد الحرارى وبالتالى إلى الأكسدة وتعرية السطح.

وقد يتطلب الأمر فى بعض الأحيان استعمال أغطية مزدوجة من مادة البولى إيثيلين، والتى يفصل بينها طبقة من الهواء. وقد تستعمل مضخة لدفع الهواء بين الطبقتين لحفظهما منفصلين عن بعضهما البعض. وهناك مميزات عدة لاستخدام طبقتين من الأغشية البلاستيكية منها تقليل الفاقد من الطاقة الحرارية داخل الصوبة، كما أن درجة حرارة السطح الداخلى تكون مقاربة لدرجة حرارة الصوبة.. الشئ الذى يقلل من تكثف بخار الماء على حوائط الصوبة الداخلية. ويوضح الشكل رقم (٤،١٠) صوبة زراعية بغطاء مزدوج محمول على كوابل.

ويتضح مما سبق أن هناك أنواع عديدة من المواد التى يمكن استخدامها فى إنشاء هياكل الصوب، وكذلك هناك أيضاً أنواع عديدة من الأغطية. ويلعب السعر دوراً حاسماً فى عملية الاختيار والتفضيل. فقد تكون الأخشاب مفضلة عن الفولاذ فى عمل الهياكل فى بعض البلدان لرخص سعرها، بينما يكون العكس هو الصحيح فى بلدان أخرى. ويمكن أيضا

مراعـاة بعـض النقـاط التاليـة بالنسـبة للصـوب الزراعيـة ذات الأغطيـة البلاستيكية[٧].

١- إحكام عملية الإنشاء مع تقليل الفواقد الناجمة عن التسربات.

٢- العمل عـى خفض تكاليف الإنشاء والصيانة.

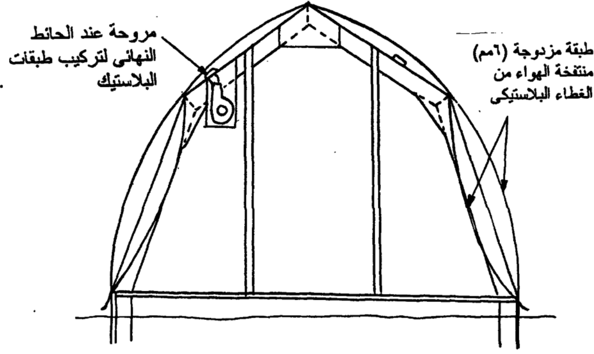
٣- تجنب ملامسة الغطاء لبعض أجزاء الهيكل المعدنى الساخن بفعـل الطاقـة الشمسية.

٤- استخدام معدلات تهوية فاعلة.

٥- العمل على تجنب تلف الغطاء على الهيكل من جراء خفقانه بفعل الريـاح، ومحاولة إتباع طرق تتيح شده بصورة محكمة.

٦- اسـتعمال أغطيـة ذات نفاذيـة مرتفعـة فـي حالـة اسـتخدام طبقتيـن مـن الأغطية.

٧- اختيار درجة انحدار للسطح تعمل على منع سقوط قطرات الماء المتكثـف على النباتات.



شكل (٤،١٠): الغطاء المزدوج محمول على هيكل

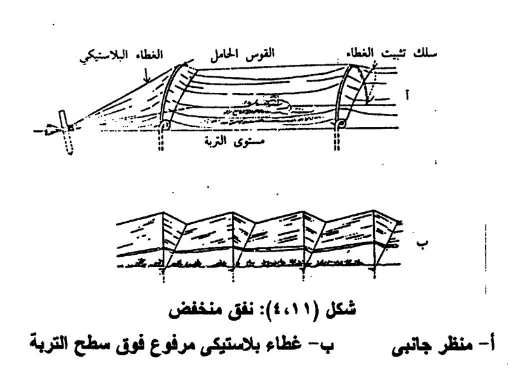
وضمانا لتهوية فاعلة يجب ان لايتجاوز عرض الصوب الزراعية المتلاحقة عن ٢٠ – ٢٥ مترا، وخاصة إذا ما تم تركيب المراوح والمصاريع على الحوائط الجانبية. وبالرغم من أن استخدام حوائط جانبية مرتفعة وعمودية يتيح إمكانية العمليات الزراعية داخل الصوب، نجد أن ذلك التصميم يحبذ تجنبه في المناطق المعرضة للرياح العاتية.

الأنفاق المنخفضة:

عبارة عن صوب بلاستيكية صغيرة بارتفاع يتراوح ما بين ٣٠ و ٤٠سم ويتفاوت عرضه ما بين ٦٠ و ٩٠سم[٧]. وتعتبر الزراعة في الإنفاق المنخفضة زراعة شبه محمية أو زراعة يقع موقعها في منتصف الطريق ما بين الزراعة في الهواء الطلق والزراعة في صوب زراعية. وهناك أنماط عديدة من الأنفاق. وعادة ما يتكون هيكل النفق من إطار خشبي أو معدني يغطى بغطاء من البلاستيك. وقد يكون الإطار عبارة عن أقواس معدنية حاملة تغرز في التربة على أعماق مناسبة. ويتم بسط الغطاء البلاستيكي على الأقواس ويثبت بواسطة حلقات على مستوى التربة. ويتم فتح ثقوب للتهوية في أعلى النفق. ويوضح الشكلين رقمي (٤،١١) و (٤،١٢) نموذجين مختلفين للأنفاق المنخفضة[٧]. وتمتاز الأنفاق المنخفضة عن الصوب الزراعية بانخفاض تكاليف الإنشاء وسهولة عملية ميكنة تغطيتها. ولكن يعاب على تلك الأنفاق المنخفضة صعوبة التحكم في ظروفها البيئية وكذلك في مجال رعاية النباتات.

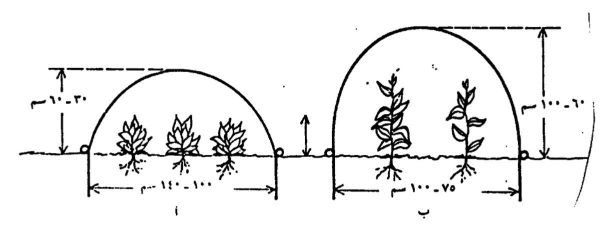
وتوجد أيضاً الأغطية الأرضية التي يتم فرشها على المزروعات مباشرة بعد البذر. وتعمل تلك الأغطية على حماية النباتات الصغيرة من انخفاض درجات الحرارة. كما تقي تلك الأغطية أيضا النباتات من الرياح والأمطار. ويفضل استخدام أنواع من الأغطية خفيفة للغاية مثل أغطية

البولى إيثيلين، لتتيح للنباتات رفعها كلما تقدمت فى النمو. كما يجب أن تكون تلك الأغطية أيضا مثقبة لدواعى التهوية. ويلاحظ أن فترة بقاء الأغطية الأرضية على النباتات تتوقف على الظروف المناخية، فهى تتفاوت باختلاف فصول السنة، كما تتوقف أيضا على نوع المحاصيل المزروعة.



شكل (٤،١١): نفق منخفض

أ- منظر جانبى ب- غطاء بلاستيكى مرفوع فوق سطح التربة



شكل (٤،١٢): نفقان منخفضان لتغطية نباتات

أ- قصيرة القامة ب- طويلة القامة

الفصل الخامس

أجهزة التحكم فى التهوية

الفصل الخامس

أجهزة التحكم فى التهوية

مقدمة

لاتقتصر مكونات الصوبة الزراعية فقط على الهيكل والغطاء، ولكن توجد أيضاً بعض الأجهزة والأنظمة التى يتم تركيبها سواء على حوائط وسقف الصوبة أو حتى بداخلها. وتعتبر تلك الأجهزة لاغنى عنها لتحقيق هدف رئيسى وأساسى وهو التحكم فى الظروف البيئية داخل الصوبة أو بما يطلق عليه تكييف الصوبة. وتتطلب عملية تهيئة بيئة الصوبة الزراعية استخدام معدلات تهوية فاعلة للتحكم أساساً فى درجات الحرارة والرطوبة للهواء داخل الصوبة. كما تعتبر التهوية أيضاً ضرورية للتخلص من الغازات الضارة ونواتج الأحتراق والمحافظة على تراكيز معقولة من غاز ثانى أكسيد الكربون عن طريق الدفع بمعدلات محسوبة من الهواء الخارجى النقى إلى داخل الصوبة. وقد يتطلب الأمر أيضاً استخدام أجهزة وتجهيزات لتدفئة الصوبة شتاء أو تبريدها صيفاً. وسوف نتطرق فى هذا الفصل إلى وصف لخصائص أهم الأجهزة والتجهيزات المستخدمة فى الصوبة الزراعية للتحكم فى ظروفها البيئية. وسوف نتطرق فقط للحديث عن الأجهزة والتجهيزات الخاصة بالتهوية. وسوف يتم التطرق للأجهزة والتجهيزات المستخدمة سواء فى تبريد أو تدفئة جو الصوبة فى فصلاً قادماً. وعلى ذلك فإن هذا الفصل يتضمن أساساً تعريفاً بالمراوح وقوانينها وأجهزة التحكم فى معدلات التهوية وكذلك أنواع المصاريع والحواجز الهوائية المستخدمة. وهناك أيضاً المحركات الكهربائية بأنواعها المختلفة، ولكن لن يتم التطرق إليها فى تلك الطبعة من الكتاب.

المراوح

تعرف المروحة على أنها مجموعة من الريش بمرتكزاتها وتحميلاتها متضمنة محركاً كهربائياً وحواجز هوائية وغطاء مقاوم للعوامل الجوية المختلفة[١]. وتعتبر المروحة الجزء الأساسي فى أى عملية تهوية ميكانيكية. وتوجد وظيفتين أساسيتين للمراوح هما:

أ- إحداث فرق ضغط للهواء.

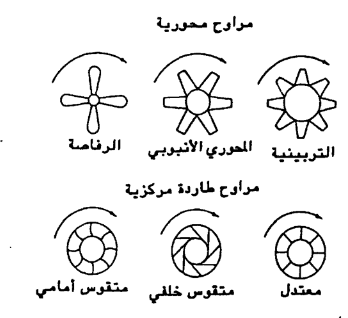
ب- دفع أو سريان الهواء.

وفى الحقيقة واعتماداً على نوع التطبيق فإنه يتم التركيز على أحد السببين السابقين دون الآخر. فعلى سبيل المثال، نجد فى الصوب الزراعية أن الهدف الرئيسى هو الحصول على معدلات سريان للهواء مع وجود فرق ضغط بسيط، بينما يعتبر إحداث فرق ضغط كبير نسبيا عبر المروحة ـ مع التضحية بجزء من سعة المروحة ـ هو الهدف الرئيسى فى عمليات التهوية الخاصة بتخزين المحاصيل الزراعية. وبناء على ما سبق فإن المراوح تنقسم إلى نوعين أساسيين هما:

أ- مراوح سريان محورى وتستخدم أساساً فى حالة الحاجة إلى معدلات تهوية.

ب- مراوح طرد مركزى وتستخدم إذا كان الهدف الأساسى فى عمليات التهوية هو إحداث فرق ضغط كبير نسبياً عبر المروحة.

ويوضح الشكل رقم (٥،١) أنواع المراوح الشائعة الاستخدام فى تطبيقات التهوية[١]. وتقسم مراوح السريان المحورى ـ على حسب أعداد وأشكال الريش ـ إلى مراوح تربينية ومراوح محورى أنبوبى رفاصة. وتمتاز المراوح التربينية عن الرفاصة بإحداث ضغط كلى مرتفع، كما تمتاز أيضاً بقلة الضوضاء المصاحبة للتشغيل. وعلى ذلك فمن الممكن استخدام المراوح



شكل (١،٥): أنواع المراوح الشائعة الاستخدام فى تطبيقات التهوية

التربينية والمراوح المحورية الأنبوبية فى عمليات التهوية الخاصة بالمحاصيل والحبوب داخل الصوامع بحيث يمكن العمل تحت الضغط الأستاتيكى المطلوب لرفع الهواء خلال المواد المخزنة داخل الصومعة. وتدفع المراوح الرفاصة الهواء فى أنماط دائرية أو دوامات نتيجة لألتواء مركز الأسلحة مع دوران المروحة. وعامة لايستخدم هذا النوع من المراوح فى حالة الحاجة إلى هواء مدفوع فى اتجاهات مستوية[٣]. وغالباً ما تستخدم مراوح الطرد المركزى ذات الريش المعتدلة فى تطبيقات معاملة المواد وفى المنشآت كثيرة التعرض للعواصف. وتعتبر المراوح ذات الريش المائلة إلى الخلف من أكفأ أنواع مراوح الطرد المركزى والتى فى الغالب ما تعمل عند السرعات المرتفعة. ويمتاز هذا النوع عن المراوح ذات الريش المعتدلة أو المائلة للأمام بانخفاض تأثر معدلات التهوية بفرق الضغط الكلى. وهى خاصية مرغوبة ـ مثلاً ـ فى تجفيف الحبوب والمحاصيل.

قوانين المراوح:

تستخدم قوانين المراوح للتنبؤ بأداء المروحة تحت ظروف وسرعات أخرى غير التى أستخدمت فى الاختبارات، وإن كانت دقة التنبؤ ليست عالية. فيمكن استخدام تلك القوانين للتنبؤ بكل من معدل السريان والقدرة وفرق الضغط وذلك كدالة فى كل من قطر المروحة وكثافة الهواء والسرعة الدورانية. ويمكن تلخيص تلك القوانين كالتالى[١]:

$$Q_2 = Q_1 (N_2 / N_1)(D_2 / D_1)^3 \qquad (٥ ، ١)$$

$$W_2 = W_1 (N_2 / N_1)^3 (D_2 / D_1)^5 (\ell_2 / \ell_1) \qquad (٥ ، ٢)$$

$$P_2 = P_1 (N_2 / N_1)^2 (D_2 / D_1)^2 (\ell_2 / \ell_1) \qquad (٥ ، ٣)$$

حيث:

Q = معدل سريان الهواء

W = السرعة الدورانية

D = قطر المروحة

W = القدرة

ℓ = كثافة الهواء

P = الضغط الكلى أو ضغط السرعة أو الضغط الأستاتيكى.

كما تشير الحالة (٢) إلى المروحة المطلوب معرفة بياناتها، بينما تشير الحالة (١) إلى المروحة المعلومة البيانات.

مثال:

احسب معدل التهوية والطاقة المضافة وكذلك فرق الضغط الكلى لمروحة من النوع الرفاص قدرتها المتاحة ٠,٥ كيلو واط تدفع مع هواء بسرعة دورانية ٧٥٠ لفة/دقيقة وبمعدل ٤,٥ متر^3/ث عند فرق ضغط كلى ١٠ باسكال وذلك فى حالة تركيب مجموعة أخرى من الطارات على

المروحة بحيث تصبح سرعتها الدورانية ١٠٠٠ لفة/دقيقة مع تثبيت قطر المروحة وعدم تغير كثافة الهواء.

الحل:

يمكن حساب معدل التهوية من المعادلة رقم (١ ، ٥) كالتالى:

$$Q_2 = 4.5\,(1000/750)\,(1)^3$$
$$= 6 \quad m^3/s$$

وتكون القدرة المطلوبة:

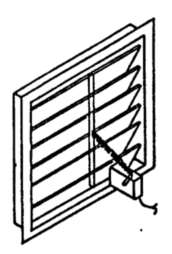
$$W_2 = 0.5\,(1000/750)^3\,(1)^5\,(1)$$
$$= 1.18\,kW$$

ويكون فرق الضغط الكلى:

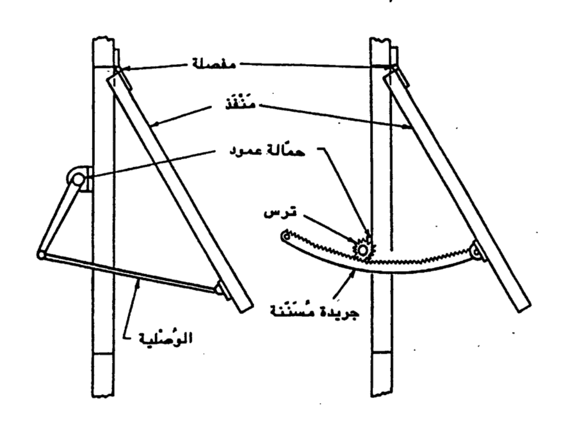
$$P_2 = 10\,(1000/750)^2\,(1)^2\,(1)$$
$$= 17.78\,Pa$$

المصاريع والحواجز الهوائية:

يتم تركيب مصاريع النوافذ وحواجز هوائية للتحكم فى سريان الهواء عند مداخل ومخارج الهواء من الصوبة. وتوجد طريقتان شائعتان فى الاستخدام بالنسبة للتحكم فى مداخل الهواء: (أ) الحواجز ذات المحركات الكهربائية، و (ب) الألواح المفصلية الأفقية من نوع شباك. فيتم تركيب الحواجز الهوائية ذات الستائر المعدنية أو الريش خفيفة الوزن فى مقدمة المراوح سالبة الضغط لمنع هواء الرياح من دخول المبنى فى حالة إيقاف المروحة. ويجب عند استخدام الحواجز التى تعمل بالمحركات الكهربائية أن يتوافق حجم المصاريع بانسجام مع عمل المراوح عند كل مرحلة من مراحل التهوية، الشكل رقم (٥،٢)[١]. وتستخدم تلك الأجهزة مع المراوح لتجزئ سريان الهواء بين فتحات متعددة أو مواسير لطرد الهواء من داخل المبانى ذات الضغط الإيجابى للهواء. وتوجد الريش التى تسمح عند الفتح بمرور الهواء من خلال الجهاز، كما تمنع مرور الهواء عند الغلق. ويتم تماسك



(أ) - مصراع من نوع - الحائط يعمل بالجاذبية أو بمحرك كهربائي



(ب) - ألواح تهوية مفصلية أفقية من نوع - شباك

شكل (٥،٢): نوعان أساسيان من فتحات تحكم يستخدمان فى الصوب الزراعية

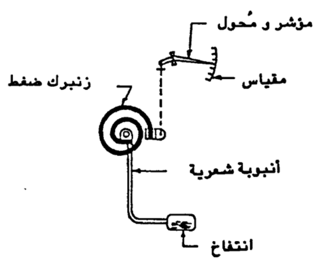
الريش مع بعضها البعض بواسطة عمود مشترك. ويمنع العمود المشترك الرياح أو التغيرات فى سريان الهواء من تقلب الريش واشتباكها مع بعضها البعض، مما قد يؤدى إلى الغلق الكامل للنافذة. ويوصى بعملية التنظيف الدورية لكل من المصاريع والحواجز، نظرا لأن تراكم الأوساخ على الوحدات يؤدى إلى زيادة الضاغط الأستاتيكى، وبالتالى خفض معدل الهواء المدفوع بواسطة المروحة.

أجهزة حس الحرارة (الترموستات):

تستخدم تلك الأجهزة فى التحكم فى درجات حرارة الهواء داخل الصوب الزراعية. والترموستات عبارة عن مفتاح حساس للحرارة يتكون من عنصر الحس الحرارى ومفتاح كهربائى لفصل أو وصل الطاقة الكهربائية إلى أجهزة التدفئة. ويوضح الشكل رقم (٥،٣) عنصر إحساس يعمل بواسطة سائل أو بخار[١]. وعلى حسب درجة الحرارة المطلوبة يتمدد السائل ـ مع تمدد أو انقباض النظام ـ والذى بدوره يعمل على إدارة مفتاح التشغيل.

أجهزة حس الرطوبة:

هى أجهزة مماثلة لأجهزة حس الحرارة باستثناء أن عنصر الإحساس المستخدم يحس الرطوبة بدلاً من درجة الحرارة. وغالباً ما تحتوى وحدة الإحساس على جزء مصنوع من شعر الإنسان أو زبدات خلات السيلولوز بحيث يتمدد وينكمش على حسب نسبة الرطوبة فى الهواء. وتوجد أنواع أخرى من أجهزة حس الرطوبة تعتمد على التغير فى المقاومة الكهربائية لوحدة الإحساس مع تغير الرطوبة النسبية. وغالبا ما تتبع أجهزة حس الرطوبة فى طريق عملها نفس الطريقة المتبعة مع أجهزة حس الحرارة.



شكل (٥،٣): منظم حرارى يعمل بواسطة سائل أو بخار

وعامة يجب تركيب أجهزة تنظيم كل من درجات الحرارة والرطوبة على مسافة ٣ متر على الأقل من الحائط الخارجى للصوبة وبالقرب من مستوى نمو النبات بحيث يمكن حس ظروف نمو النبات الفعلية. كما يجب تجنب التأثيرات الحرارية المتولدة من الإشعاع الشمسى على الترموستات. فقد تتأثر وحدة إحساس جهاز الترموستات ـ ومن ثم درجة الحرارة المضبوط عليها ـ عند تعرض الجهاز لأشعة الشمس المباشرة. فيمكن حجب تلك الوحدة عن أشعة الشمس بواسطة مادة مصنوعة من الألومنيوم أو مادة ذات دهان أبيض. وقد تساهم ملاصقة وحدة الإحساس لحائط خارجى أيضا فى عدم دقة التحكم فى درجة الحرارة. ولابد أيضا عند تركيب تلك الأجهزة تفادى المساحات التى فى مقدمة الدفايات أو مداخل الهواء. وتعتبر المنطقة التى تلى التقاء كل من الهواء الداخل مع الهواء الدافئ مكاناً مناسباً حيث توجد فرصة للخلط بينهما مع استقرار واضح للظروف البينية. ويفضل توافر محرك للهواء بعد عنصر الأحساس وذلك إما لتقليب الهواء طبيعيا خلال المنشأة أو بواسطة تركيب مروحة شفط. وعامة يفضل تركيب تلك الأجهزة فى منتصف الصوبة عند مستوى النبات.

الفصل السادس

نظم تهوية الصوبة الزراعية

الفصل السادس

نظم تهوية الصوبة الزراعية

يمكن تقسيم نظم التهوية المستخدمة فى المنشآت الزراعية عامة والصوب الزراعية خاصة إلى:

أ- تهوية طبيعية.

ب- تهوية ميكانيكية.

وسوف نتطرق بقليل من التفصيل إلى شرح واف لأسلوب استخدام كل من الطريقتين.

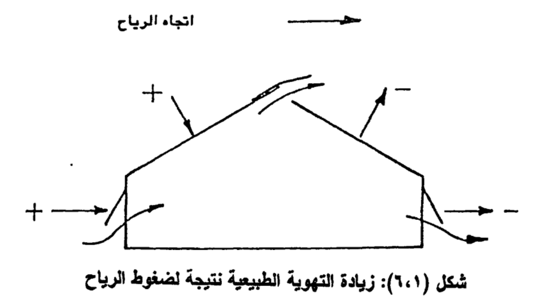
التهوية الطبيعية:

تعتمد التهوية الطبيعية أساساً عن طريق كل من قوى الضغط المتولدة من الرياح وقوى الطفو الحرارى. وتعتبر التهوية الطبيعية من أقدم طرق التهوية وأكثرها شيوعاً، نظراً لانخفاض تكلفتها الابتدائية وكذلك تكلفة الطاقة المستخدمة. ولكن يعاب على تلك الطريقة اعتمادها على عدة عوامل أهمها طبيعة المناخ وعوائق الرياح وكذلك المتطلبات البيئية. فمثلاً يعتمد معدل التهوية المتحصل عليه على انحدارات الضغوط المتولدة من الرياح وعلى كل من سرعة واتجاه الرياح وتداخل العوائق القريبة من قمم ومبانى وتحديد موضع مداخل ومخارج الهواء. كما يتوقف معدل التهوية المتحصل عليه على الفرق فى درجات الحرارة بين داخل وخارج المبنى، فيصبح الهواء عند تمدده نتيجة التدفئة داخل الصوبة أقل كثافة ويرتفع إلى أعلى. وتسمح الفتحات الموجودة فى أعلى الصوبة بتسرب الهواء الدافئ وإحلاله بهواء بارد يدخل من خلال فتحات تهوية منخفضة. وعلى ذلك فاختيار حجم الفتحات مهما للغاية للحصول على تهوية فاعلة. وقد تحدث حركة الهواء والتهوية الطبيعية

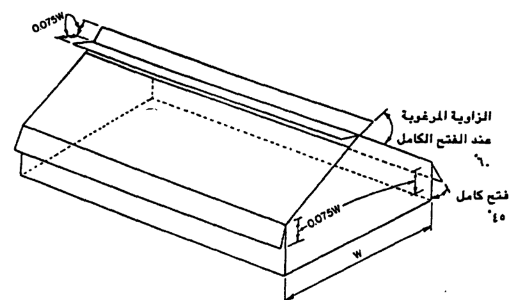
بناء على أى من العاملين السابقين بمفرده أو بواسطة العاملين معا. وعامة تكون التهوية أكثر فعالية عند هبوب نسمات هوائية أو رياح، نظراً لأن ضغوط وقوى السرعة تكون أكبر بكثير من قوى الطفو الحرارى.

ويوضح الشكل رقم (١ ، ٦) قوى الضغوط الموجبة والسالبة الواقعة على سطح صوبة أو مبنى، كما يوضح كذلك أهمية وضع فتحات التهوية على الحائط الجانبى أو الحافة العلوية بالنسبة للتهوية بمساعدة الرياح[١]. فبينما تعمل الضغوط الموجبة والمتولدة على الأجزاء المقابلة للرياح على تزويد الهواء للداخل، تعمل الضغوط السالبة المتولدة على أجزاء من سطح البيت والحائط الجانبى غير المتقابلين مع الرياح على سحب الهواء من المبنى.

ويجب ـ للحصول على تبادل هوائى أمثل مع التهوية الطبيعية ـ أن تكون مساحة كل من فتحات الحائط الجانبى وفتحات الحافة العلوية فى المدى من ١٥٪ إلى ٣٠٪ من مساحة الأرضية[١]. ويوضح الشكل رقم (٦،٢) فتحات السطح عند الفتح الكامل. ويوصى بأن يكون حجم فتحات الحافة العلوية وفتحات التهوية الجانبية متساوية تقريباً. ويعاب على استخدام التهوية الطبيعية عدم وصول معدلات التهوية المتحصل عليها إلى المعدلات المرغوبة والتى تتراوح ما بين ٠,٧٥ – ١,٠ تبادل هوائى فى الدقيقة فى حالة توافر فتحات السطح فقط أو عند سرعات للرياح حتى ١٠ (كم/ساعة). كما أنه يصعب استخدام التبريد بالوسائد مع التهوية الطبيعية. كما أن من العيوب الرئيسية فى استخدام التهوية الطبيعية صعوبة وتكلفة التحكم الآلى وعليه فغالباً ما يتم التحكم فى تلك الفتحات يدوياً.



شكل (٦،١): زيادة التهوية الطبيعية نتيجة لضغوط الرياح



شكل (٦،٢): الاحجام الموصى باستخدامها لكل من فتحات الحافة والحائط الجانبى بالنسبة للتهوية الطبيعية

التهوية الميكانيكية:

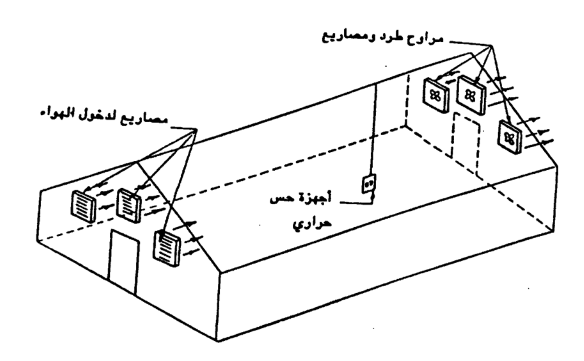
تعتبر التهوية الميكانيكية باستخدام المراوح من أكثر الطرق انتشاراً للتحكم فى الظروف البيئية داخل الصوبة الزراعية، هذا بالإضافة إلى انخفاض التكلفة النسبية لاستخدام الطاقة الكهربائية. ويستخدم مع التهوية

الميكانيكية مراوح وفتحات تحكم فى الهواء وحواجز هوائية. وغالبا ما تكون نظم التهوية الميكانيكية المستخدمة طاردة أو ضاغطة. وسوف نتطرق بقليل من التفصيل إلى طرق استخدام هذين النظامين.

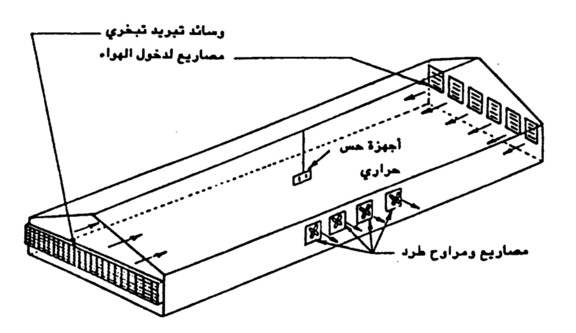
نظم التهوية الطاردة

يتم فى هذا النظام تركيب مراوح الطرد على الحوائط النهائية للصوبة، بينما يتم تركيب مصاريع ومداخل الهواء على الحائط النهائى الآخر وذلك كما هو موضح بالشكل رقم (٦،٣)[١]. ويجب مراعاة تركيب مراوح الطرد على الحائط الجانبى أو النهائى المقابل. ويجب مراعاة زيادة سعة المراوح بحوالى ١٠٪ إذا اضطرت الحاجة إلى تركيب المراوح عكس الإتجاه المشار إليه. ويجب أن تركب المراوح وفتحات دخول الهواء عند مستوى أعلى من ارتفاع النبات، وأن يتم توجيه الهواء إلى نظام خلط وتوزيع لتجنب انجراف الهواء مباشرة إلى النبات. ويرجع السبب فى ذلك إلى أن تعرض النباتات لتيار مستمر من الهواء سوف يؤدى إلى ضعف فى النمو نتيجة للتوزيع غير المتساوى لدرجات الحرارة وكذلك حالات التجفيف الزائدة.

ويفضل بالنسبة للصوب الزراعية الطويلة (طول الحائط الجانبى أكبر من ٤٥ متراً) أن يتم تركيب المراوح على الحوائط الجانبية بالقرب من مركز الصوبة مع وجود المصاريع الخاصة بدخول الهواء عند الحائطين النهائيين، وذلك لتقصير مسافة سريان الهواء بين المداخل والمخارج، الشكل رقم (٦،٤). ويفضل استخدام ذلك النظام عند تزايد ارتفاع درجة حرارة الهواء بطول المبنى من إحدى النهايات إلى النهاية الأخرى، أو عند تقسيم الصوبة إلى أقسام بحيث يتم التحكم فى التهوية فى كل حجرة على حدة، أو فى حالة تركيب وسائد للتبريد بطول أحد الحوائط الجانبية.



شكل (٦،٣): نظام تهوية مبسط يحتوى على مراوح طرد ومصاريع مداخل هوائية



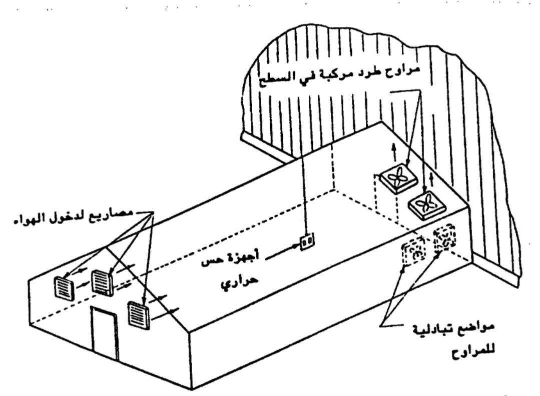
شكل (٦،٤): مراوح طرد مركبة على الحائط الجانبى مع مصاريع مداخل هوائية ووسادة تبريد على الحوائط النهائية

وقد يتم تركيب مراوح الطرد في سطح الصوبة عندما يصعب التركيب سواء على الحوائط الجانبية أو النهائية نتيجة لوجود تجهيزات أو مباني أخرى ملاصقة، الشكل رقم (٦،٥)[١]. وتعتبر المراوح المعلقة في السطح صعبة ومكلفة من حيث التركيب عن الوحدات المتساوية في الحجم والمركبة على الحوائط. وقد تحتاج تلك المراوح إلى أغطية خاصة لمنع دخول الأمطار. وقد تتعارض المراوح المعلقة في السطح أيضا مع الأغطية البلاستيكية. ويكون عمل قطاع دائم عبر سطح المنشأة حيث يتم تركيب المراوح هو أحد حلول هذه المشكلة. وتركب ـ مع هذا الترتيب ـ مصاريع مداخل الهواء في الحائط النهائي المقابل أو الحائط الجانبي المقابل.

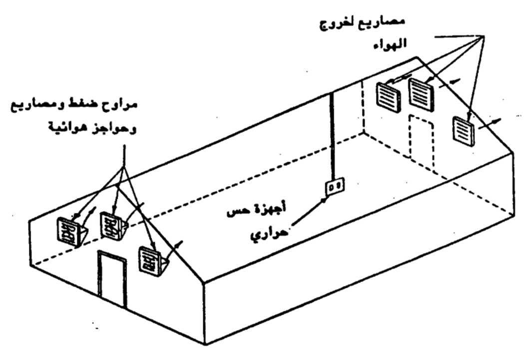
نظم التهوية الضاغطة

يتم تركيب المراوح الضاغطة ـ التي تقوم بسحب الهواء الخارجي ودفعه إلى داخل الصوبة ـ عند أحد الحوائط النهائية، بينما تركب المصاريع على الحائط النهائي المقابل. ويفضل أن تركب المراوح الضاغطة على الحائط النهائي المقابل لاتجاه الرياح، بينما المصاريع على الحائط النهائي غير المقابل لاتجاه الرياح. أما إذا اضطرت الظروف لتغيير وضع تركيب كل من المراوح والمصاريع، فإنه يجب استخدام مراوح ذات سعات بمقدار حوالي ١٠٪ للتغلب على الضغوط المتولدة من الرياح. ويوضح الشكل رقم (٦،٦) صوبة زراعية تستخدم نظام تهوية موجب الضغط.

ويفضل بالنسبة للصوب الطويلة تركيب مراوح الضغط على كل من الحائطين النهائيين، بينما تركب مصاريع الطرد في الجزء الأوسط من الحوائط الجانبية. ويمتاز نظام التهوية الضاغطة باستمرارية إضافة تهوية فاعلة حتى عند فتح الأبواب أو عند حدوث تسرب للهواء من خلال جدران الصوبة. ويعاب على ذلك النظام انجرافات الهواء المحتملة مما يدعو إلى الحاجة إلى حيز يقع في منطقة الذروة يكون غير مشغول بالنباتات ليسمح بخلط هواء الصوبة الداخلي مع هواء التهوية.



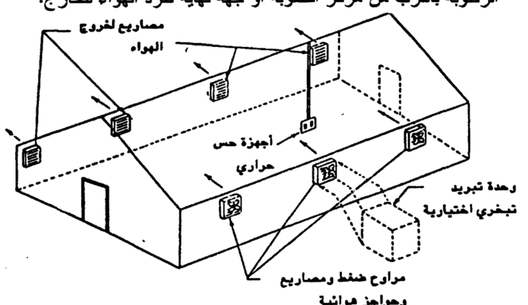
شكل (٦،٥): تركيب مراوح فى السطح بالقرب من نهاية الصوبة فى حالة وجود عوائق عند الحائط النهائى



شكل (٦،٦): نظام تهوية باستخدام مراوح موجبة الضغط على الحائط النهائى

وقد يتم تركيب المراوح موجبة الضغط علـى أحد الحوائط الجانبيـة، بينما تركب المصاريع على الحائط الجانبى المقابل، الشكل رقم (٦،٧). ويجب أن يعمل ذلك النظام على مراحل. فيبدأ بتشغيل مروحة منتصف الصوبة مع مصراعى الطرد اللذان يقعان بالقرب من الحوائط النهائية، ثم التقدم تبادليا صوب كل نهاية بالنسبة لوضع المراوح والتقدم جهة المركز بالنسبة لوضع المصاريع.

وأخيراً يراعى مع هذا النظام تركيب المراوح والمصاريع على ارتفاع مناسب مع تركيب حاجز على قاعدة مقدمة المروحة لتوجيه الهواء إلى أعلى قليلاً، وذلك للتأكد من أن السرعة المرتفعة للهواء والمتولدة من تصرف المراوح لاتصطدم مباشرة بالنباتات. كما يزيد هذا التصميم من سحب وخلط وتوزيع الهواء بعيداً عن الحيز المشغول بالنباتات، كما يتيح أتساقاً جيداً للطرد خلال حيز نمو النبات. كما يجب أن يراعى عند تركيب المراوح بطول الحائط الجانبى أن تكون على مسافات تعادل تقريباً عرض الصوبة. كما يفضل أيضاً أن يتم تركيب أجهزة التحكم فى كل من درجة الحرارة ونسبة الرطوبة بالقرب من مركز الصوبة أو جهة نهاية طرد الهواء للخارج.



شكل (٦،٧): نظام تهوية باستخدام مراوح موجبة الضغط على الحائط الجانبى (يوضح إمكانية تركيب وحدة تبريد تبخيرى وملحقاتها)

الفصل السابع

الاتزان الحرارى والرطوبى

الفصل السابع

الاتزان الحرارى والرطوبى

مقدمة

تعتبر التهوية أحد أهم عناصر نظم تهيئة بيئة الصوبة الزراعية. والغرض من التهوية هو توفير هواء نقى معتمدا على ظروف المناخ والمتطلبات البيئية داخل الصوبة. وقد لايقتصر الأمر على الحاجة إلى تهوية فقط، ولكن قد يكون من الضرورى إجراء عملية تكييف للظروف البينية الداخلية للصوبة. وتعتبر تلك العملية السبب الأساسى والرئيسى الذى من أجله بنيت الصوبة الزراعية. وتعتمد عملية حساب معدلات التهوية المطلوبة وتصميم نظام تهوية ملائم على مدى الفهم لطبيعة المتغيرات الفيزيائية والبيولوجية مع الأخذ فى الاعتبار للمدى الواسع من التفاعلات المعقدة.

ويوجد العديد من القوانين والعلاقات الساسية التى يمكن استخدامها عند حساب معدلات التهوية المطلوبة وتوزيعات سريان الهواء. وتعتبر تلك القوانين والعلاقات الأساسية من المتغيرات التصميمية الهندسية التى يجب أخذها فى الاعتبار. ويحتوى هذا الفصل على المعلومات الخاصة بتأثير البيئة على النبات، وعلى معدلات هواء التهوية المطلوبة.. سواء للتحكم فى درجات الحرارة أو نسبة الرطوبة داخل الصوبة. وهناك أيضاً معدلات تهوية أخرى للتحكم فى نسب الغازات داخل الصوبة، وإن كانت تلك المعدلات صغيرة بحيث يمكن إهمالها وذلك بالمقارنة بالمعدلات الخاصة بكل من درجات الحرارة ونسبة الرطوبة. وقد تم تطوير هذا الفصل ليس فقط لإمكان حساب معدلات التهوية المطلوبة ولكن أيضاً لتقديم المعلومات الأساسية عن أهمية

العوامل المتضمنة، وعلى أهمية الأخذ فى الاعتبار للتفاعلات المعقدة عند التصميم لنظام تهوية.

وقد تكون عملية التهوية وحدها غير كافية وخاصة فى الأجواء شديدة الحرارة أو شديدة البرودة. وينبغى فى تلك الحالات حساب أحمال التبريد أو أحمال التدفئة المطلوبة داخل الصوبة. وقد تم تخصيص الفصل التالى بأكمله لمراجعة نظم التدفئة والتبريد المطلوبة داخل الصوبة لما لهما من أهمية قصوى بالنسبة لسبل تكييف الصوبة الزراعية.

ولمعرفة مدى الحاجة إلى تهوية الصوبة، ولتقدير كذلك ما إذا كانت الصوبة فى حاجة إلى تهوية فقط أو تهوية وتدفئة (أو تبريد)، فإنه من الشائع تطبيق الاتزان الحرارى (أو الرطوبى) على الصوبة وذلك عن طريق مساواة المكتسبات الحرارية (أو الرطوبية) مع الفواقد الحرارية (أو الرطوبية). وغالباً ما يتم تطبيق ظروف الحالة المستقرة على الصوب الزراعية لتقدير متطلبات كل من التهوية والتدفئة[٢٢]. وقد طور عدد من الباحثين تحليلات ظروف الحالة غير المستقرة (الديناميكية المتغيرة) والتى يمكن من خلالها تقييم التغيرات فى درجات الحرارة الداخلية والخارجية وكذلك تأثير التخزين الحرارى فى الصوبة والنبات أو كتلة الأرض[٢١]. وسوف نتطرق فى هذا الفصل إلى التحليلات الخاصة بتطبيق ظروف الحالتين المستقرة وغير المستقرة.

الاتزان الحرارى لصوبة زراعية
(ظروف الحالة المستقرة)

يتم استخدام الاتزان الحرارى لإيجاد معدلات التهوية المطلوبة للتحكم فى درجة الحرارة. ويمكن عمل الاتزان الحرارى على صوبة زراعية كذلك

للتنبؤ بدرجات الحرارة للوسط الهوائى داخل الصوبة. ويعتمد الاتزان الحرارى على مصادر الطاقة المختلفة التى تؤثر على الصوبة. كما يمكن أيضا استخدام المركبات الحرارية المختلفة لتقدير معدلات التهوية المطلوبة للتحكم فى درجة حرارة الهواء داخل الصوبة عند حدودها المرغوبة. ويوضح الشكل رقم (١ ، ٧) المركبات الحرارية المختلفة التى تؤثر على درجات حرارة الهواء داخل الصوبة. ويمكن حساب الاتزان الحرارى داخل الصوبة باستخدام المعادلة التالية وذلك بفرض أن درجة الحرارة للجو أقل من درجة حرارة الهواء داخل الصوبة[١].

$$QI + Q_e + Q_f + Q_r = \pm(Q_{cd} + Q_g) + Q_v + Q_i + Q_t + Q_p \quad (٧،١)$$

حيث:

QI : معدل الطاقة الشمسية المخترقة لجدران الصوبة والساقطة على وحدة المساحات.

Q_e : معدل الحرارة المتولدة من التجهيزات المستخدمة داخل الصوبة مثل المحركات الكهربائية أو الإضاءة.

Q_f : الحرارة المضافة من أفران التدفئة.

Q_r : الحرارة المتولدة من نتح النبات.

Q_{cd} : الحرارة المفقودة (أو المكتسبة) بالتوصيل من خلال جدران الصوبة.

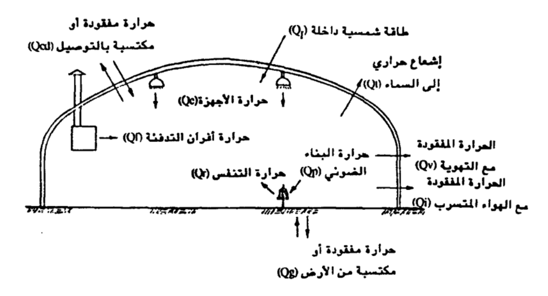
Q_g : الحرارة المنتقلة من أو إلى الأرض.

Q_v : الحرارة المفقودة مع هواء التهوية.

Q_i : الحرارة المتسربة من الصوبة من خلال الشقوق والأبواب والنوافذ.

Q_t : الحرارة المفقودة بالإشعاع الحرارى.

Q_p : الحرارة المستهلكة فى عملية البناء الضوئى.



شكل (٧،١): الطاقات المفقودة والمكتسبة فى صوبة زراعية

وعادة ما يتم ترتيب أجزاء المعادلة رقم (١ ، ٧) إلى داخل مجموعتين. فيمثل المجموع الجبرى للحرارة المكتسبة على الجانب الأيسر، بينما يمثل الجانب الأيمن المجموع الجبرى للفواقد الحرارية من داخل الصوبة. ويمكن تقليل عدد أجزاء تلك المعادلة بإهمال بعض المركبات ـــ كما سيتم إيضاحه وذلك بالمقارنة بالمركبات الحرارية الأخرى.

ويمكن تقدير الطاقة الشمسية المخترقة لجدران الصوبة من المعادلة التالية:

$$QI = \tau_s (I) (A_f) \qquad (٧ ،٢)$$

حيث:

τ_s : معامل النفاذية لمادة غطاء الصوبة بالنسبة للإشعاع قصير الموجة.

I : شدة الإشعاع الشمسى الساقط على وحدة المساحات.

A_f : مساحة أرضية الصوبة.

وتعتبر تلك المركبة من أهم المركبات التى تؤثر على درجة حرارة الهواء داخل الصوبة. ويتضح أيضاً أن إختيار مواد أغطية ذات نفاذية عالية للطاقة الشمسية مهمة وخاصة فى فصل الشتاء. ويمكن أيضاً فى فصل الصيف تقليل كمية الطاقة الشمسية المخترقة لجدران الصوبة عن طريق تغطية أجزاء من الصوبة بمواد عاكسة للإشعاع الشمسى.

ويمكن إهمال الحرارة المتولدة من الأجهزة، Q_e، مثل الإضاءة والمحركات الكهربائية وذلك بالمقارنة بالمركبات الحرارية الأخرى. أما بالنسبة للحرارة المتولدة من الأفران Q_f فيمكن تحديد بياناتها من المصانع المنتجة لتلك الأجهزة. كما تعتبر حرارة النتح من أنسجة النبات Q_r صغيرة للغاية بحيث من الممكن إهمالها. وتتغير تلك المركبة تغيراً طفيفاً إعتماداً على ظروف النبات وظروف الإضاءة ودرجة الحرارة.

وتعتبر الحرارة المفقودة بالتوصيل Q_{cd} من أكبر مركبات الفقد الحرارى أثناء فصل الشتاء. ويرجع السبب فى ذلك إلى أن مواد الغطاء رقيقة وذات معامل نفاذية مرتفع، وبالتالى فهى ضعيفة من حيث العزل الحرارى. ويمكن التعبير عن كمية الحرارة المفقودة بالتوصيل كالتالى:

$$Q_{cd} = U\,A(T_a - T_o) \qquad (٧ ، ٣)$$

حيث:

U : معامل النقل الحرارى الكلى، ك. واط / (م^2 .°م)

A : المساحة السطحية للصوبة الزراعية، م^2.

T_a : درجة الحرارة للهواء داخل الصوبة، °م

T_o : درجة حرارة الهواء الخارجى، °م.

وتتوقف الحرارة المنتقلة من أو إلى الأرض، Q_g ، على ما إذا كانت درجة حرارة الهواء الداخلية أعلى أو أقل من درجة حرارة الأرض عند عمق مناسب. وعامة تكون هذه المركبة صغيرة إلى حد ما وذلك بالمقارنة ببعض مركبات الفقد الحرارى الأخرى داخل الصوبة. وقد يكون ذلك الجزء من الفقد الحرارى مهما وخاصة بالنسبة للصوب الزراعية التى لاتستخدم أى وسيلة من وسائل التدفئة.

ويمكن التعبير عن الحرارة المفقودة مع هواء التهوية فى كلتا صورتيهما المحسوسة والكامنة كالآتى:

$$Q_\upsilon = Q_{s\upsilon} + Q_{l\upsilon} \qquad (٧،٤)$$

حيث:

$Q_{s\upsilon}$: الحرارة المحسوسة المفقودة مع هواء التهوية، ك واط

$Q_{l\upsilon}$: الحرارة الكامنة المفقودة مع هواء التهوية، ك واط

وتعتبر الحرارة المفقودة مع هواء التهوية أهم مركبة فقد حرارى فى فصل الشتاء بعد مركبة الفقد الحرارى بالتوصيل. وفى المعادلة السابقة تعرف الحرارة المحسوسة على أنها الجزء من الطاقة الكلية المفقودة مع هواء التهوية والمسببة فى رفع درجة حرارة الهواء، بينما تعرف الحرارة الكامنة على أنها الحرارة المفقودة فى صورة بخار ماء.

ويمكن وصف الحرارة المحسوسة والمفقودة مع هواء التهوية كالآتى:

$$Q_{s\upsilon} = (V / \upsilon)(Cp)(T_a - T_o) \qquad (٧ ، ٥)$$

حيث:

V : معدل سريان هواء التهوية، م^3 / ث

υ : الحجم النوعى للهواء، م^3/ كجم

Cp : الحرارة النوعية للهواء الجاف

ويمكن وصف الحرارة الكامنة المفقودة مع هواء التهوية كالآتي:

$$Q_{l\,v} = E(F)(Q1) \qquad (٧،٦)$$

حيث:

E : نسبة البخر ـ نتح إلى الإشعاع الشمسى الساقط على الورقة.

F : نسبة إمتلاء البيت المحمى بالنباتات.

وتتولد الحرارة الكامنة أساساً من تبخير ماء التربة ونتح النبات. وغالباً ما تكون E بالنسبة للمحاصيل التى تنمو بنشاط ما بين القيمتين ١,٠ و ٠,٥ [١٩]. وفى الغالب ما يوصى باستخدام القيمة ٠,٥ فى الصوب الزراعية، نظراً لأن نسبة كبيرة من الأوراق تكون غير معرضة لأشعة الشمس نتيجة لتشابك أفرع النبات وكذلك لوجود ظلال لهيكل المبنى على الأوراق.

ويمكن حساب الحرارة المفقودة مع الهواء المتسرب من الصوبة من خلال التشققات أو أى فتحات أخرى صغيرة داخل الصوبة، Q_i، بنفس طريقة حساب الطاقة المفقودة مع هواء التهوية. وتحدث تلك التسربات للهواء الداخلى نتيجة لفروق ضغط الرياح أو قوى الطفو الحرارى. ويعتبر التسرب نوعاً من أنواع التهوية الطبيعية غير المتحكم فيها، ويتوقف أساساً على صيانة ونوع المنشأة ويبين الجدول رقم (٧،١) معدلات التبادل الهوائى الطبيعى نتيجة التسرب[٩].

ويمكن حساب معدل الفقد الحرارى بالإشعاع من داخل الصوبة الزراعية باستخدام العلاقة التالية:

$$Q_t = \varepsilon_s(\tau_t)(\sigma)(A_f)(T_a^4 - \varepsilon_a T_o^4) \qquad (٧،٧)$$

حيث:

ε_s : معامل الإصدار الحرارى للأسطح الداخلية.

جدول (٧،١): معدلات التبادل الهوائى الطبيعى نتيجة التسرب من الصوب الزراعية

نظام الإنشاء	التبادلات الهوائية فى الساعة*
منشأة جديدة، زجاج أو ألياف زجاجية	٠.٧٥ – ١,٥
منشأة جديدة، طبقة مزدوجة من البلاستيك	٠,٥ – ١,٠
منشأة قديمة	١,٠ – ٢,٠
منشأة قديمة، زجاج ذو حالة ركيكة	٢,٠٠ – ٤,٠٠

* تقلل سرعة الرياح المنخفضة أو الحماية من الرياح من معدل التبادل الهوائى. ويجب أن تستخدم القيمة ٠,٥ أو أقل فى حالة إنخفاض درجة الحرارة الخارجية عن درجة التجمد، نظراً لأن التكثيف المتجمد قد يسد الفتحات الصغيرة.

τ_t : معامل النفاذية الحرارى أو للإشعاع طويل الموجه.

σ : ثابت استافان بولتزمان (٥,٦٧ × ١٠^-٨ واط/ م٢. ك٤)

T_a : درجة حرارة الهواء الداخلية المطلقة، °ك

T_o : درجة الحرارة الخارجية المطلقة، °ك

ε_a : معامل الإصدار الظاهرى للجو (٠,٨٦)

ونظراً لانخفاض معامل النفاذية للإشعاع الحرارى بالنسبة لمواد أغطية الصوب الزراعية، فإن هذه المركبة قد لاتكون ذات أهمية كبيرة فى حسابات الإتزان الحرارى. وفي أغلب الأحوال لايتم حساب تلك المركبة على حده، بل يتم دمجها مع مركبة الفقد الحرارى بالتوصيل.

أما بالنسبة للطاقة المستخدمة فى عملية البناء الضوئى، Q_P ، فإنه من الممكن إهمالها ـ بالمقارنة بالمركبات الحرارية الأخرى ـ حيث أنها تمثل حوالى ٣٪ من الطاقة الإشعاعية الساقطة على أوراق النبات[١٧،٢٣].

ويمكن - فى حالة عدم الحاجة إلى تدفئة - حساب معدل التهوية للتحكم فى درجة الحرارة كالتالى:

$$m_t = \frac{QI - Q_{cd} - Q_t - Q_{lv}}{Cp(T_a - T_o)} \qquad (٧،٨)$$

حيث:

m_t : معدل التهوية للتحكم فى درجة الحرارة، كجم/ث

ويلاحظ من المعادلة أن البسط فيها يمثل صافى كمية الحرارة المراد إزالتها من الصوبة، بينما يمثل المقام كمية الحرارة الممكن إزالتها من الهواء بإستخدام وحدة الأوزان من الهواء.

ونظراً لأنه من الطبيعى أن يعبر عن m_t بوحدات متر مكعب على الثانية. فإن قيم m_t فى حاجة للتحويل من وحدات كتلة إلى وحدات حجوم بمعلومية الحجم النوعى للهواء. ويتم تقويم الأخير عند الظروف الداخلية بالنسبة لنظم التهوية الطاردة، بينما يقوّم عند الظروف الخارجية بالنسبة لنظم التهوية الضاغطة.

ومن الأهمية بمكان ذكر أنه فى حالة اختيار قيمة لمعدل التهوية، فإنه يمكن حساب كمية الطاقة الواجب إضافتها لتدفئة الصوبة وللمحافظة على درجة الحرارة الداخلية المطلوبة وخاصة فى فصل الشتاء - بالحل بالنسبة لـ Q_f فى المعادلة رقم (٧،١).

التنبؤ بدرجات حرارة مركبات الصوبة
(ظروف الحالة غير المستقرة)

إذا كان أحد أهم أهداف استخدام الصوب الزراعية هو توفير ظروف مناخية مفضلة لنمو النباتات، فإنه لابد من الأخذ فى الاعتبار لدرجات الحرارة لمركبات الصوبة المختلفة مثل الزجاج وسطح التربة وسطح النبات والهواء الداخلى. ويستلزم التصميم للتحكم فى الظروف البيئية الحرارية للصوبة الزراعية التنبؤ بدقة معقولة للظروف الداخلية والممثلة فى درجات الحرارة ونسبة الرطوبة. ويمكن الحصول على ذلك نظريا عن طريق تطوير برامج محاكاة باستخدام الحاسبات الآلية. ويمكن تطبيق تلك البرامج للتنبؤ بالظروف المناخية داخل الصوبة وكذلك تقييم أداء الصوبة فى أى موقع طالما توافرت بيانات مناخية لتلك المناطق. وقد روعى فى ذلك التحليل تطبيق ظروف الحالة غير المستقرة على الصوبة نظراً لتعرضها لظروف مناخية ديناميكية متغيرة من إشعاع شمسى وسرعة رياح ودرجات حرارة تكاد تكون التغيرات فيها لحظياً. وتعتبر تلك التحليلات ذات قيمة خاصة إذا ما استخدمت كأداة بحثية لتقييم تأثير التغيرات على العوامل التصميمية.

الاتزان الحرارى لغطاء الصوبة:

يتعرض غطاء الصوبة لإشعاع شمسى، ويتبادل الإشعاع الحرارى مع النباتات والتربة والفضاء الخارجى. كما يحدث انتقال حرارة بالحمل من على سطح الغطاء إلى الجو الخارجى اعتماداً على نسب الرطوبة المتشبعة بين سطح الغطاء والهواء الداخلى. ويمكن كتابة معادلة الاتزان الحرارى لغطاء صوبة زراعية كالتالى[١٦]:

$$R_{o-g}+R_{p-g}+R_{s-g}+C_{a-g}+D_{a-g}-R_{g-o}-C_{g-o} = V_g\,(CV_g)\left(\frac{dT_g}{dt}\right) \qquad (٧،٩)$$

حيث:

R_{o-g} : الطاقة الإشعاعية قصيرة الموجة الممتصة فى وحدة المساحات من الغطاء، جول/ (ث.م^٢).

R_{P-g} : الطاقة الإشعاعية المتبادلة بين النبات والغطاء، جول/ (ث.م^٢)

R_{s-g} : الطاقة الإشعاعية المتبادلة بين التربة والغطاء، جول/ (ث.م^٢)

C_{a-g} : معدل النقل الحرارى بالحمل من على سطح الغطاء الداخلى، جول/ (ث.م^٢)

D_{a-g} : معدل النقل الحرارى نتيجة لتكثيف بخار الماء على الغطاء، جول/ (ث.م^٢)

R_{g-o} : الطاقة الإشعاعية طويلة الموجة المنبعثة من الغطاء للجو الخارجى، جول/ (ث.م^٢)

C_{g-o} : معدل النقل الحرارى بالحمل من على سطح الغطاء الخارجى، جول/ (ث.م^٢)

V_g : حجم وحدة المساحات من مادة الغطاء، م^٣/ م^٢.

Cv_g : الحرارة النوعية الحجمية لمادة الغطاء، جول/ م^٣.ك

T_g : درجة حرارة غطاء الصوبة، ك

t : الزمن، ثانية

ويمكن حساب R_{o-g} كالتالى:

$$R_{o-g} = (\alpha s_g)(I) \qquad (٧،١٠)$$

حيث:

αs_g : معامل امتصاصية الغطاء للإشعاع الشمسى.

I : شدة الإشعاع الشمسى الساقط على وحدة المساحات من مادة الغطاء، جول/ (ث.م^٢)

ويمكن أيضاً حساب R_{p-g} كالتالى:

$$R_{p-g} = \varepsilon_p (\sigma)(T_p^4 - T_g^4) \qquad (٧،١١)$$

حيث:

ε_p : معامل الانبعاث الإشعاعى من النبات.

T_p : درجة حرارة النبات المطلقة، °ك

T_g : درجة حرارة الغطاء المطلقة، °ك

كما يمكن حساب R_{s-g} كالتالى:

$$R_{s-g} = \varepsilon_s (F_{s-g})(\sigma)(T_s^4 - T_g^4) \qquad (٧،١٢)$$

حيث:

ε_s = معامل الانبعاث الحرارى من التربة.

F_{s-g} = معامل التشكل بين التربة والزجاج.

T_s = درجة حرارة سطح التربة المطلقة، °ك.

ويمكن حساب C_{a-g} بالمعادلة التالية:

$$C_{a-g} = 4.36(T_a - T_g)^{0.25}(T_a - T_g) \qquad (٧،١٣)$$

حيث:

T_a : درجة حرارة هواء الصوبة المطلقة، °ك

أما بالنسبة لـ D_{a-g} فيمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$D_{a-g} = 1.06(10^4)(T_a - T_g)^{0.25}(H_a - H_g)$$

(٧،١٤)

حيث:

H_a : نسبة الرطوبة المطلقة للهواء الداخلى، كجم ماء / كجم هواء جاف.

H_g : نسبة الرطوبة المطلقة عند سطح الغطاء الداخلى، كجم ماء / كجم هواء جاف.

ويمكن حساب R_{o-g} باستخدام المعادلة الآتية:

$$R_{o-g} = \varepsilon_g(\sigma)(T_g^4) - 5.31(10^{-13})T_o^6 \quad (٧،١٥)$$

حيث:

ε_g : معامل الانبعاث الإشعاعى من غطاء الصوبة.

ويتم أيضاً حساب C_{g-o} بواسطة العلاقة التالية:

$$C_{g-o} = 1.98(U^{0.8})(Tg - To) \quad (٧،١٦)$$

وبتعويض المعادلات من (٧،١٠) حتى (٧،١٦) فى المعادلة رقم (٧،٩) يمكن التنبؤ بدرجة حرارة سطح غطاء الصوبة الزراعية.

الاتزان الحرارى للنبات:

يمتص النبات داخل الصوبة الإشعاع الشمسى، كما يحدث تبادل للإشعاع الحرارى بينه وبين كل من التربة وغطاء الصوبة. ويمكن كتابة معادلة الإتزان الحرارى للنباتات كالتالى[١٦]:

$$(٨،١٧)\ R_{o-p} + R_{s-p} - R_{p-g} - C_{p-a} - L_{p-a} = W_p(CP_p)\left(\frac{d\,Tp}{dt}\right)$$

حيث:

R_{o-p} : الطاقة الإشعاعية قصيرة الموجة الممتصة بواسطة النباتات، جول/ث.م^2

R_{s-p} : الطاقة الإشعاعية المتبادلة بين التربة والنبات، جول/ ث.م^2

C_{p-a} : معدل النقل الحرارى بالحمل من على سطح النباتات، جول/ث.م^2

L_{p-a} : معدل الحرارة الكامنة المنتقلة من النباتات لهواء الصوبة، جول/ث.م^2

W_P : وزن أوراق النباتات فى وحدة المساحات، كجم/م^2.

Cp_p : الحرارة النوعية لأوراق النباتات، جول/كجم. ك

ويمكن حساب R_{o-p} باستخدام العلاقة التالية:

$$R_{o-p} = (\alpha s_p)(F_{p-g})(\tau_g)(I_a) \quad (٨،١٨)$$

حيث:

αs_p : معامل امتصاص النبات للإشعاع الشمسى.

F_{p-g} : معامل التشكل بين النبات والغطاء.

τ_g : معامل نفاذية الغطاء للإشعاع الشمسى.

أما بالنسبة لـ R_{S-p} فيمكن إيجادها بواسطة العلاقة التالية:

$$R_{S-p} = \varepsilon_S (F_{S-p})(\alpha l_p)(\sigma)(T_S^4 - T_p^4) \quad (٧،١٩)$$

حيث:

ε_s : معامل انبعاث التربة للإشعاع الحرارى.

F_{S-p} : معامل التشكل ما بين التربة والنبات.

αl_p : معامل إمتصاص النبات للإشعاع طويل الموجة.

ويمكن تقدير C_{p-a} باستخدام العلاقة التالية:

$$C_{p-a} = (Cp_a / rh)(P)(T_p - T_a) \quad (٧،٢٠)$$

حيث:

Cp_a : الحرارة النوعية للهواء الداخلى، جول/ كجم.ك

rh : مقاومة بثور النباتات لإنتقال الحرارة، ث/م

ρ : كثافة الهواء، كجم/م^3.

كما يمكن تقدير L_{p-a} باستخدام العلاقة التالية:

$$L_{p-a} = (1/re)(1/VS_a)(Hp - H_a)(LHV) \quad (٧،٢١)$$

حيث:

re : مقاومة البثور لسريان الكتلة، ث/م

Vs_a : الحجم النوعى للهواء، م^٣/ كجم هواء جاف.

H_P : نسبة الرطوبة المطلقة عند سطح النبات، كجم ماء/ كجم هواء جاف.

H_a : نسبة الرطوبة المطلقة لهواء الصوبة، كجم ماء/ كجم هواء جاف.

LHV : الحرارة الكامنة لتبخير الماء، جول/ كجم ماء.

وبالتعويض بالعلاقات السابقة فى المعادلة رقم (٧،١٦) يمكن التنبؤ بدرجة حرارة سطح النبات.

الاتزان الحرارى لسطح التربة:

يوضح الشكل رقم (٧،٢) توزيعات الطاقة على سطح التربة. ويمكن كتابة معادلة الإتزان الحرارى لسطح التربة كما يلى[١٦]:

$$R_{o-s}-C_{s-a}-L_{s-a}-R_{s-p}-R_{s-g}-CN_{s-b} = V_s(CV_s)(dT_s/dt) \qquad (٧،٢١)$$

حيث:

R_{O-s} : الطاقة الإشعاعية قصيرة الموجة الممتصة بواسطة التربة، جول/ ث.م^٢

C_{s-a} : معدل النقل الحرارى بالحمل من على سطح التربة، جول/ ث.م^٢

L_{s-a} : معدل الحرارة الكامنة المنتقلة من سطح التربة لهواء الصوبة، جول/ث.م^٢

CN_{s-b} : معدل إنتقال الحرارة بالتوصيل داخل التربة، جول/ ث.م^٢

V_s : حجم وحدة المساحات من مادة التربة، م^٣/ م^٢

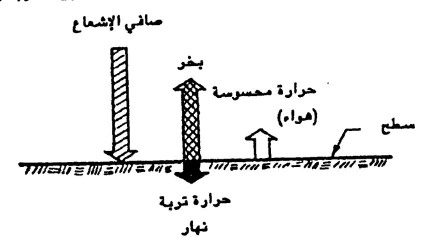
Cv_s : الحرارة النوعية الحجمية لمادة التربة، جول/م^٣.ك

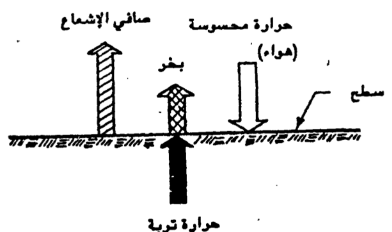
ويمكن حساب R_{o-s} باستخدام العلاقة التالية:

$$R_{o-s}=(\alpha S_s)(1-F_{p-g})(\tau_g)(I) \qquad (٧،٢٣)$$

حيث:

αS_s = معامل امتصاصية التربة للإشعاع الشمسى.





شكل (٧،٢): رسم يوضح توزيعات الطاقة على سطح الأرض

ويمكن حساب C_{s-a} باستخدام العلاقة التالية:

$$C_{s-a} = 2.5(T_s - T_a)^{0.25}(T_s - T_a) \qquad (٧،٢٤)$$

أما بالنسبة لـ L_{s-a}، فإنه يمكن حسابها باستخدام العلاقة التالية:

$$L_{s-a} = 2.488(T_s - T_a)^{0.25}(H_s - H_a)(LHV) \qquad (٧،٢٥)$$

حيث:

H_s : نسبة الرطوبة المطلقة عند سطح التربة، كجم ماء/كجم هواء جاف

كما يمكن أيضاً حساب CN_{s-b} باستخدام المعادلة التالية:

$$CN_{s-b} = K_s(T_s - T_b)/Z \qquad (٧،٢٦)$$

حيث:

k_s : معامل التوصيل الحرارى للتربة، جول/ث.م.ك

T_b : درجة حرارة التربة عند عمق مناسب، ك

Z : عمق طبقة التربة، م

ويمكن باستخدام المعادلات السابقة والتعويض فى المعادلة رقم (٧،٢٧) التنبؤ بدرجة حرارة سطح التربة.

الاتزان الحرارى لهواء الصوبة:

يمكن كتابة معادلة الاتزان الحرارى للهواء داخل الصوبة على النحو التالى:

$$C_{s-a}+C_{p-a}-QV_{a-o}-C_{a-g}=V_a\,(CV_a)\left(\frac{dTa}{dt}\right) \qquad (٧،٢٨)$$

حيث:

Qv_{a-o} : معدل الحرارة المفقودة مع هواء التهوية، جول/ ث.م^2

V_a : حجم الهواء داخل الصوبة بالنسبة لوحدة المساحات م^3/م^2

Cv_a : الحرارة النوعية الحجمية للهواء، جول/ م٣. ك

ويمكن حساب Qv_{a-o} باستخدام العلاقة التالية:

$$QV_{a-o}=\rho(\upsilon)(Cp_a)(Ta-To) \qquad (٧-٢٩)$$

حيث:

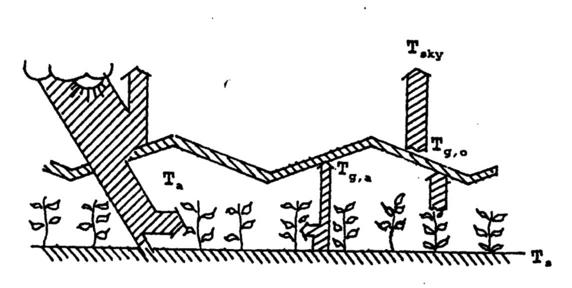
ρ : كثافة الهواء، كجم/م^3

υ : معدل هواء التهوية بالنسبة لوحدة المساحات، م^3/ ث.م^2

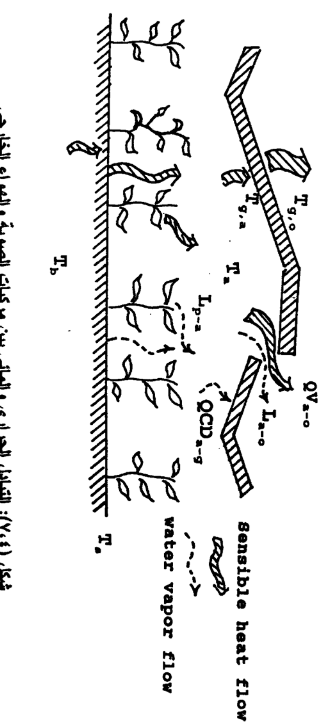
ويمكن باستخدام المعادلة رقم (٧،٢٨) التنبؤ بدرجة حرارة الهواء داخل الصوبة وذلك كدالة فى درجات حرارة كل من سطح التربة والنبات وغطاء الصوبة.

ويمكن الآن حل المعادلات الأربع أرقام (٧،٩) و (٧،١٧) و (٧،٢٢) و (٧،٢٨) لإيجاد درجات حرارة كل من غطاء الصوبة والنبات وسطح التربة والهواء داخل الصوبة على الترتيب.

ويلاحظ وجوب استخدام طريقة نيوتن فى حل المعادلات ذات الأس الكسرى. كما لابد وأن يكون ناتج القيم بين الأقواس التى تحمل أسا كسرياً موجباً لتجنب الأرقام المركبة التى تحتوى على جزء حقيقى وجزء تخيلى. والمعادلات الأربع السابقة يمكن حلها بسهولة عن طريق تطوير برنامج محاكاة باستخدام الحاسب الآلى تستخدم فيه طريقة تكرارية للحل مع فرض قيم ابتدائية لدرجات حرارة مركبات الصوبة[١٦]. ويوضح الشكلين رقمى (٧،٣) و (٧،٤) اختراق كل من الإشعاع الشمسى والحرارى لمركبات الصوبة وكذلك التبادل الحرارى والرطوبى بين مركبات الصوبة المختلفة والهواء الخارجى[١٢].



شكل (٧،٣): اختراق الأشعاع الشمسى والحرارى لمركبات صوبة زراعية



شكل (٧٠٤): التبادل الحرارى والمائى بين مركبات الصوبة والهواء الخارجى

الاتزان الرطوبى لصوبة زراعية
(تطبيق ظروف الحالة المستقرة)

على الرغم من أن درجة الحرارة داخل الصوبة الزراعية من أهم العوامل البيئية الحرجة، إلا أن الرطوبة داخل الصوبة تعتبر أيضاً مهمة للغاية. ويتم استخدام الاتزان الرطوبى أو الكتلى لإيجاد معدلات التهوية المطلوبة للتحكم فى مستويات الرطوبة داخل الصوبة. ويتم استخدامه أيضاً لتقدير مستويات الرطوبة الداخلية فى حالة استخدام معدلات تهوية محددة. ونظراً لعدم وجود انتقال للرطوبة من خلال جدران الصوبة، فإن العلاقات المستخدمة تكون أكثر سهولة. وعلى ذلك يمكن حساب معدل التهوية للتحكم فى نسبة الرطوبة داخل الصوبة مباشرة باستخدام المعادلة التالية[١]:

$$m_W = \frac{WT}{(H_a - H_o)} \qquad (٧،٣٠)$$

حيث:

m_w : معدل التهوية للتخلص من الرطوبة الزائدة، كجم/ساعة

WT: معدل الرطوبة المضافة لبيئة الصوبة الزراعية بواسطة النتح وكذلك بالتبخير من على سطح التربة، كجم ماء/ساعة.

H_a : نسبة الرطوبة للهواء داخل الصوبة، كجم ماء/ كجم هواء جاف

H_o : نسبة الرطوبة للهواء الخارجى، كجم ماء/ كجم هواء جاف.

ويكون العكس أيضاً صحيحاً بالنسبة للعلاقة السابقة. فإذا كانت هناك معدلات تهوية محددة يتم استخدامها، فإنه يمكن التنبؤ بنسبة الرطوبة للهواء داخل الصوبة. ويفضل حفظ الرطوبة النسبية داخل الصوبة عند مستويات أقل من ٨٥٪ بقدر الإمكان، نظراً لأن السماح بأبقاء الرطوبة النسبية عند مستويات قريبة من التشبع لفترات طويلة سوف يولد مشاكل حادة مرتبطة بالتكثيف لبخار الماء والأمراض. كما أنه لايفضل أيضاً الأبقاء بالرطوبة

النسبية عند مستويات أقل من ٧٠٪، نظراً لأن وجود مستويات رطوبية منخفضة للهواء قد تضيف إجهادات على النباتات.

الاتزان الرطوبى لصوبة زراعية
(ظروف الحالة غير المستقرة)

قد يسمح - فى حالة استخدام معدل التهوية للتحكم فى أى ظروف بيئية غير نسبة الرطوبة - بتراكم الرطوبة فى هواء الصوبة وبالتالى ارتفاع مستويات الرطوبة للهواء بمرور الوقت. ويمكن وصف معادلة اتزان الحرارة الكامنة (الرطوبة) للهواء الداخل فى تلك الحالة كما يلى[١٦]:

$$L_{s-a} + L_{p-a} - L_{a-o} - D_{a-g} = V_a (1 / VS_a) \left(\frac{d H_a}{dt} \right) (LHV) \quad (٧،٣١)$$

حيث:

L_{a-o} : معدل انتقال الحرارة الكامنة من الهواء داخل الصوبة للخارج، جول/ث.م٢

VS_a : الحجم النوعى للهواء، م٣/ كجم هواء جاف

LHV : الحرارة الكامنة لتبخير الماء، جول/كجم ماء

ويمكن حساب L_{a-o} باستخدام العلاقة التالية[١٦]:

$$L_{a-o} = (\upsilon)(1 / VS_a)(H_a - H_o)(LHV) \quad (٧،٣٢)$$

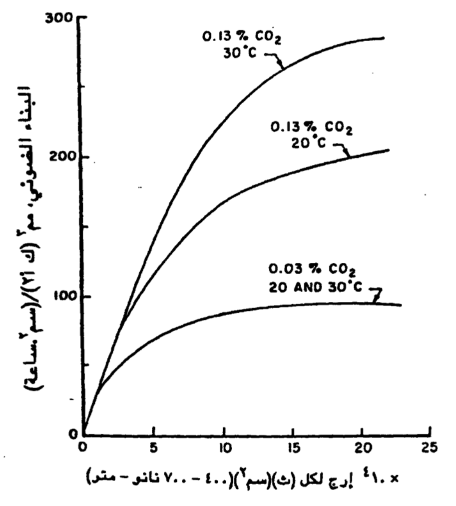
التهوية للتحكم فى نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون:

يحدث انخفاض سريع لتركيز غاز ك أ٢ داخل الصوبة إن لم يحدث لها تهوية. فالنباتات تستهلك غاز ك أ٢ فى عملية البناء الضوئى ولابد من التهوية للسماح بزيادة تركيز ك أ٢ مرة أخرى. وقد يؤدى نقص غاز ك أ٢ إلى ١٦٠ جزء فى المليون (٠,٠١٦٪) إلى نقص فى معدل البناء الضوئى قد يصل

إلى ٥٠٪. وعلى العكس من ذلك فإن معدل البناء الضوئى يزداد بمقدار ٥٠٪ عند زيادة تركيز الغاز من ٣٣٥ إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون (أى من التركيز الطبيعى ٠,٠٣٣٥٪ إلى ٠,١٪). وقد تصل الزيادة فى البناء الضوئى إلى ١٠٠٪ إذا كانت الزيادة فى تركيز الغاز مصحوبة بإضاءة قوية وحرارة مرتفعة بالقدر المناسب لنمو النبات[٦].

ويوضح الشكل رقم (٧،٥) كيف يتفاعل كل من تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون وشدة الإضاءة ودرجة الحرارة فى التأثير على معدل البناء الضوئى. ويمكن تزويد الصوبة بغاز ك أ٢ عن طريق التهوية أو عن طريق استخدام بعض المحروقات مثل البارافين أو غاز البروبان حيث يؤدى إحتراقها فى مواقد خاصة إلى إنتاج غاز ك أ٢. ولكن يجب أن تكون هذه المحروقات على درجة عالية من النقاوة، نظراً لأن الكبريت الموجود بها قد يتحول إلى غاز ثانى أكسيد الكبريت الذى يذوب فى الماء بسهولة ثم يتحول إلى حامض كبريتيك.. الذى بدوره يؤدى إلى إحتراق أوراق النبات[٦]. كما يمكن ايضاً إنتاج الغاز بتسامى غاز ك أ٢ الصلب بوضعه فى أوان تعلق فى أماكن متفرقة من الصوبة. كما يمكن أيضاً إنتاج الغاز بتبخير ك أ٢ السائل من خلال أنابيب بولى إيثيلين مثقبة.

وعامة لاتوجد معادلة رياضية يمكن استخدامها لحساب معدل التهوية المطلوب للتحكم فى تراكيز الغازات داخل الصوبة وأهمها غاز ك أ٢. ولكن يمكن القول أن أى من معدلى التهوية سواء للتحكم فى درجة الحرارة أو نسبة الرطوبة يعتبر كافياً لإمداد الصوبة بالهواء النقى والعودة بتراكيز غاز ك أ٢ إلى مستوياتها الطبيعية.



شكل (٧،٥): البناء الضوئى لورقة خيار عند كل من التراكيز المنخفضة والمتشبعة تحت ظروف إضاءة متوهجة

الخلاصة

يتضح مما سبق أن هناك معدلات للتهوية للتحكم فى درجة الحرارة للهواء داخل الصوبة وأخرى للتحكم فى نسبة الرطوبة ـ المعادلتين رقمى (٧،٨) و (٧،٣٠) على الترتيب. وفى الغالب ما يتم استخدام معدل التهوية للتحكم فى درجة الحرارة فى فصل الصيف، نظرا لارتفاع درجة حرارة الهواء داخل الصوبة إلى معدلات أكثر بكثير مما هو مطلوب. وقد يتطلب الأمر فى بعض الأحيان فى بعض المناطق استخدام طرق لتبريد الهواء الداخل إلى الصوبة.. فى حالة ما إذا كان معدل التهوية للتحكم فى درجة الحرارة غير كاف،ومن الناحية الأخرى، نجد أنه فى الغالب ما يتم استخدام معدل التهوية للتحكم فى نسبة رطوبة الهواء داخل الصوبة فى فصل الشتاء. ويرجع السبب فى ذلك إلى أنه فى الغالب ما يكون ذلك المعدل أعلى من معدل التهوية المطلوب للتحكم فى درجة الحرارة. ويمكن فى تلك الحالة توفير مصدر حرارة خارجى للمحافظة على درجة الحرارة المرغوبة للهواء الداخلى ـ أو السماح لدرجة حرارة الهواء الداخلى بالإنخفاض عن المستوى المطلوب. وهناك معدل آخر للتهوية للتحكم فى تراكيز الغازات داخل الصوبة وأهمها لمنع نضوب غاز ثانى أكسيد الكربون. ولكن فى الغالب ما يكون ذلك المعدل أقل من المعدلين السابقين وبالتالى فليست هناك أية مشكلة بالنسبة لنضوب غاز ك أ٢ عند استخدام معدل تهوية سواء للتحكم فى درجة الحرارة أو نسبة الرطوبة.

وعامة توصى معظم المراجع والدراسات السابقة باستخدام معدل تهوية داخل الصوب الزراعية فى حدود من $\frac{٣}{٤}$ إلى ١ تبادل هوائى فى الدقيقة. وجدير بالذكر أن ارتفاع درجة حرارة الهواء منذ لحظة الدخول إلى الخروج يتناسب تناسباً عكسياً مع معدل سريان الهواء. فيؤدى استخدام معدل سريان للهواء ـ فى يوم مشمس ـ $\frac{٣}{٤}$ تبادل هوائى إلى ارتفاع درجة حرارة

الهواء ٦°م، بينما يتولد عن استخدام واحد تبادل هوائى ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره حوالى ٥°م.

ويتم ـ بعد تقدير معدلات التهوية المطلوبة ـ اختيار سعة وعدد المراوح المطلوبة. ويتم أيضا تحديد المسافات فيما بين المراوح، وذلك للحصول على توزيع منتظم لسريان الهواء عبر الصوبة. فيجب أن لا تزيد سرعة الهواء عبر أى نبات على واحد (م/ث)[٩]. ويجب أن لاتزيد المسافات بين كل من مروحتين متتاليتين على ٧,٥م، وأن يتم تركيب المراوح على الجانب المقابل للرياح. ويجب أن تغطى المراوح بستائر محكمة الغلق لمنع حدوث تلفيات للنباتا من جراء هواء الشتاء البارد.

حساب معدلات التهوية:

مثال:

صوبة زراعية مساحتها الأرضية ١٢٠٠ متر٢ ومساحتها السطحية ١٨٠٠ متر٢ مغطاه بطبقة من مادة البولى إيثيلين بمعامل نفاذية ٨٨٪ للموجات القصيرة و ٨٠٪ بالنسبة للموجات الطويلة. والصوبة مزروعة بالنباتات بنسبة امتلاء ٨٠٪ ومعامل بخر ـ نتح بالنسبة للإشعاع الشمسى يعادل ٠,٥ كما كانت شدة الإشعاع الشمسى ٨٠٠ واط/ م٢ ومعامل إنتقال الحرارة من خلال جدران وسقف الصوبة ٤ واط/م٢. م. وبفرض أن الصوبة الزراعية تخضع لظروف حالة مستقرة وأن معامل الإصدار للإشعاع الحرارى يعادل ٠,٨٣، بينما معامل الإصدار الظاهرى للجو ٠,٨٦ كما أن الظروف البيئية يمكن تلخيصها كما يلى:

	داخل الصوبة	سطح التربة	خارج الصوبة
درجة الحرارة،°م	٣٢	٣٦	٢٢
نسبة الرطوبة، كجم ماء/ كجم هواء	٠,٠٢٥٠	٠,٠٢٥١	٠,٠١١

احسب معدل التهوية المطلوب استخدامه لتلك الصوبة... موضحاً مدى الحاجة إلى عملية تدفئة (أو تبريد) أو يكتفى بالتهوية فقط.

الحل

يمكن تلخيص المعلومات المعطاة فى هذا المثال كما يلى:

$A_f = 1200\ m^2\ ,\ A = 1800\ m^2\ ,\ \tau_s = 0.88\ ,\ \tau_t = 0.80$

$F = 0.8\ ,\ E = 0.5\ ,\ I = 800 W/m^2\ ,\ U = 4\ W/m^{2\cdot}\ ^\circ c\ ,\ \varepsilon_g = 0.83$

$\varepsilon_a = 0.86\ ,\ T_a = 32^\circ c,\ T_s = 36^\circ c,\ T_o = 22^\circ c\ ,\ H_a = 0.025 \frac{Kgw}{Kg}$

$H_s = 0.0251 \frac{Kgw}{Kg}\ ,\ H_o = 0.\ \ 0.011 \frac{Kgw}{Kg}$

والآن لابد أولاً من إيجاد معدلات التهوية للتحكم فى كل من درجة الحرارة ونسبة الرطوبة ثم الحديث بعد ذلك عن المعدل المطلوب.

أولا: يتم حساب معدل التهوية للتحكم فى درجة الحرارة باستخدام المعادلة رقم (٧،٨):

$$m_t = \frac{(QI - Q_{cd} - Q_t - Q_{lv})}{Cp(T_a - T_o)}$$

$$QI = \tau_s (A_f)(I)$$

$$= 0.88(1200)(m^2)(800)\left(\frac{W}{m^2}\right) \times \frac{1}{1000}\left(\frac{kW}{W}\right)$$

$$\therefore QI = 844.8\, kW$$

$$Q_{cd} = U A (T_i - T_o)$$

$$= 4\left(\frac{W}{m^{2.\circ} c}\right)(1800)(m^2)(32-22) \times \frac{1}{1000}\left(\frac{kW}{W}\right)$$

$$\therefore Q_{cd} = 72\, kW$$

$$Q_t = \varepsilon_s(\tau_t)(\sigma)(A_f)(T_i^4 - \varepsilon_a T_o^4)$$

$$T_i = 32 + 273 = 305\ ^\circ K$$

$$T_o = 22 + 273 = 295\ ^\circ K$$

$$Q_t = 0.83(0.80)(5.67 \times 10^{-8})\left(\frac{W}{m^2.K^4}\right)(1200)(m^2)\left\{(305)^4 - 0.86(295)^4\right\}$$

$$= 96707.8\, W$$

$$\therefore Q_t = 96.7\, kW$$

$$Q_{lv} = E(F)(QI)$$

$$= (0.5)(0.80)(844.8)(kW)$$

$$= 337.9\, kW$$

$$\therefore m_t = \frac{(844.8-72-96.7-337.9)\left(\frac{kj}{s}\right)}{1.01\left(\frac{kj}{kg.^\circ c}\right)(32-22)(^\circ c)}$$

$$= 33.5\ \frac{kg}{s}$$

ويمكن حساب معدل التهوية المطلوب للتحكم فى نسبة الرطوبة الداخلية باستخدام المعادلة رقم (٧،٣٠).

$$m_W = \frac{WT}{(H_a - H_o)}$$

Where:

$$WT = Q_{l\upsilon} + L_{s-a}$$

and

$$Q_{l\upsilon} = 337.9\,kW$$

ويمكن تحويل قيمة الحرارة الكامنة من الوحَدات الحرارية إلى ما يعادلها بوحدات كتلة باستخدام معامل التحويل للحرارة الكامنة لتبخير الماء.

$$Q_{l\upsilon} = 337.9\left(\frac{kj}{s}\right)\left(\frac{1}{2450}\right)\left(\frac{kg_w}{kj}\right)$$

$$= 0.138\ \frac{kg_w}{s}$$

كما يمكن حساب معدل البخر من سطح التربة باستخدام المعادلة رقم (٧،٢٥):

$$L_{s-a} = 2.488(T_s - T_a)^{0.25}(H_s - H_a)$$

$$= 2.488(36-32)^{0.25}(0.0251-0.025)$$

$$= 0.000348\ \frac{kg_w}{S.m^2}$$

$$= 0.000348\left(\frac{kg_w}{S.m^2}\right)(1200)(m^2)$$

$$L_{s-a} = 0.418\ \frac{kg_w}{s}$$

$$\therefore WT = 0.138 + 0.418$$

$$= 0.556\, kg_w\ /\ S$$

$$\therefore m_w = \frac{0.556\,(kg_w\ /\ S)}{(0.025 - 0.011)\ \frac{kg_w}{kg}}$$

$$m_w = 39.7\, kg\ /\ S$$

يتضح مما سبق أن معدل التهوية المطلوب للتحكم فى درجة الحرارة للهواء داخل الصوبة عند ٣٢°م هو ٣٣.٥ (كجم هواء/ث)، بينما يكون معدل التهوية المطلوب للتحكم فى نسبة الرطوبة عند ٠.٠٢٥ كجم ماء/ كجم هواء (أو رطوبة نسبية حوالى ٨٣٪) هو ٣٩,٧ (كجم هواء/ث). وغالباً يفضل استخدام معدل التهوية الأكبر للتحكم فى نسبة الرطوبة، نظراً لأنه فى حالة استخدام معدل التهوية الأصغر - والخاص بالتحكم فى درجة الحرارة - فإن ذلك سوف يؤدى إلى إرتفاع نسبة رطوبة هواء الصوبة إلى مستويات أعلى مما هو مطلوب. ويلاحظ أن إستخدام معدل التهوية الأكبر والضرورى للتحكم فى نسبة الرطوبة سوف يؤدى إلى خفض درجة حرارة الهواء داخل الصوبة عن المستوى المطلوب. ويلاحظ أن إنخفاض درجات الحرارة للهواء الداخلى جوهرياً قد يؤدى إلى تأخير الإنبات أو حتى الموت نتيجة لبرودة الجو. وعامة يمكن التغلب على ذلك باستخدام التدفئة الصناعية إذا دعت الحاجة إلى ذلك.

ولمعرفة مقدار الانخفاض فى درجة حرارة هواء الصوبة ومدى الحاجة إلى التدفئة الصناعية، وذلك فى حالة إستخدام معدل التهوية للتحكم فى نسبة رطوبة الهواء داخل الصوبة، فإنه يجب التعويض مرة أخرى فى المعادلة رقم (٧،٨) باستخدام معدل التهوية المستخدم (وهو الخاص بالتحكم فى نسبة الرطوبة):

$$(MT_a - 22) = \frac{(844.8 - 72 - 96.7 - 337.9)\left(\frac{kj}{s}\right)}{39.7\left(\frac{kg}{s}\right)(1.01)\left(\frac{kj}{kg.\,^\circ c}\right)}$$

$$\therefore MT_a = 8.4 + 22$$
$$= 30.4\ ^\circ c$$

ويكون مقدار الانخفاض فى درجة حرارة الهواء داخل الصوبـة ΔT من جراء استخدام معدل تهوية أكبر مما هو مطلوب للتحكم فى درجة حـرارة هواء الصوبة كالأتى:

$$\Delta T = T_a - MT_a$$
$$= 32 - 30.4$$
$$\Delta T = 1.6\,^\circ C$$

وقد يرى البعض أن هذا الانخفاض ذو تأثير لايذكـر خاصـة إذا كـان هناك مرونة فى الأداء مع التضحيات البسيطة بالنسبة للنباتات. وعامـة يمكـن تقدير حمل التدفئة المطلوب لتعويض الانخفاض ΔT فى درجة حـرارة هـواء الصوبة من جراء استخدام معدل تهوية أكبر مما هو مطلوب للتحكم فى درجة الحرارة وذلك بالتعويض فى المعادلة رقم (٧،١) ـ ظروف الحالة المسـتقرة ـ بعد إهمال المركبات الحرارية الصغيرة.

$$Q_f = Q_{cd} + Q_U + Q_t - Q_I$$
$$= Q_{cd} + Q_{SU} + Q_t - (QI - Q_{IU})$$

ويلاحظ أنه تم تجزئة Q_U إلى مركبتيها Q_{lU} و Q_{sU}. وقد تـم وضعهمـا علـى الصـورة السـابقة لتوضيـح أن جـزء مـن الطاقـة الإشـعاعية المخترقـة للصوبة سوف يستخدم فى عملية البخر ـ نتح. وبالتعويض فى المعادلة السابقة نجد أن:

$$Q_{SU} = 39.7\left(\frac{kg}{s}\right)(1.01)\left(\frac{kj}{kg.c}\right)(32-22)(^{\circ}c)$$

$$= 400.97 \quad kj/s$$

$$Q_{SU} = 401 \quad kW$$

$$\therefore Q_f = 72 + 401 + 96.7 - (844.8 - 337.9)$$

$$= 62.8 \quad kW$$

يتضح مما سبق أن الصوبة في حاجة إلى تدفئة إضافية مقدارها ٦٢,٨ ك واط وذلك للمحافظة على درجة حرارة هواء الصوبة عند المستوى المطلوب.

وقد يرى البعض في سبيل خفض تكلفة الطاقة المستخدمة ـ التضحية بعض الشئ بمستويات الرطوبة للهواء داخل الصوبة. وبعبارة أخرى قد يستخدم البعض معدل التهوية المنخفض الخاص بالتحكم في درجة الحرارة بدلاً من المعدل الأمثل للتهوية. وفي تلك الحالة يمكن التنبؤ بما قد يحدث لمستويات الرطوبة للهواء الداخلي. فبالتعويض في المعادلة رقم (٧،٣٠) باستخدام معدل التهوية المنخفض نجد أن:

$$m_t' = \frac{W_T}{(\bar{H}_a - H_o)}$$

$$\bar{H}_a = \frac{W_T}{m_t} + H_o$$

$$= \frac{0.556\,(kg_w/s)}{33.5\,(kg_a/s)} + 0.011\,(kg_w/kg_a)$$

$$\bar{H}_a = 0.0276 \; kg_w/kg_a$$

ونجد بالكشف فى الخريطة السيكرومترية - بالشكل رقم (٣،٢) عند درجة حرارة للهواء الداخلى ٣٢°م - نظرا لأن معدل التهوية المستخدم كان للتحكم فى درجة الحرارة - وعند نسبة رطوبة للهواء ٠,٠٢٧٦ أن الرطوبة النسبية للهواء قد بلغت حوالى ٩٠٪. ويلاحظ أن ذلك المستوى من الرطوبة النسبية - القريب من درجة التشبع - مرتفع إلى حد ما. وقد يؤدى إلى تولد مشاكل حادة مرتبطة بالتكثيف والأمراض خاصة إذا سمح للرطوبة لتبقى عند هذا المستوى لفترة طويلة. ولهذا السبب ينصح بحفظ الرطوبات النسبية عامة عند مستويات أقل من ٨٥٪ بقدر الإمكان.

التنبؤ بدرجة حرارة الهواء داخل الصوبة:

مثال:

صوبة زراعية بمساحة سطحية ١٥٠٠ متر٢ ومساحة أرضية ١٠٠٠ متر٢ وإرتفاع متوسط للصوبة ٣ متر. والصوبة مغطاة بطبقة من الزجاج بمعامل نفاذية ٩٥٪ للموجات القصيرة و ٨٥٪ للموجات الطويلة. فإذا كانت درجة حرارة الهواء الخارجية ١٨°م ورطوبته النسبية ٦٠٪ وكمية الطاقة الشمسية الساقطة على الصوبة هى ٦٥٠ واط/متر٢ ومعدل التهوية المستخدم هو ٠,٧٥ تغير هوائى/دقيقة ومعامل إنتقال الحرارة ٤ واط/ متر٢. °م، بينما معامل الإشعاع للموجات الطويلة ٠,٨٥ ومعامل الإصدار الظاهرى للجو ٠,٨٦.

احسب تقريباً درجة حرارة الهواء داخل الصوبة مع فرض أن الصوبة تخضع لظروف الحالة المستقرة ومزروعة بالنباتات بنسبة إمتلاء ٨٠٪ ومعامل بخر - نتح يعادل ٠,٥.

الحل

يمكن تلخيص المعلومات المتوفرة فى المثال السابق كما يلى:

$A = 1500\ m^2$ $\quad T_o = 18\ ^oc$ $\quad F = 0.80$

$A_f = 1000\ m^2$ $\quad RHo = 60\%$ $\quad E = 0.5$

$Z = 3$ m $I = 650$ W/m^2 $\varepsilon_a = 0.86$
$\tau_s = 0.95$ $G = 0.75$ air change /min
$\tau_t = 0.85$ $U = 4$ W/m^2. °c $\varepsilon_t = 0.85$

والمطلوب هو حساب T_a ؟

ونظرا لأن الصوبة فى حالة مستقرة، فإنه يمكن تطبيق معادلة الإتزان الحرارى رقم (٧،١) للتنبؤ بدرجة حرارة الهواء داخل الصوبة. ويمكن كتابة المعادلة بعد إهمال المركبات الصغيرة كما يلى:

$$QI = Q_{cd} + Q_{\upsilon} + Q_t$$

$$\tau_s A_f I = U A(T_a - T_o) + \left(\frac{V}{\upsilon}\right)(Cp)(Ta - To) + E(F)(\tau_s)(A_f)I + \varepsilon_t(\tau_t)(\sigma)(A_f)(T_a^4 - \varepsilon_a T_o^4)$$

ونظراً لأن T_a ذات قوى مختلفة فى المعادلة السابقة، فإنه يصعب حلها بالتعويض المباشر. ويستلزم فى تلك الحالة استخدام إحدى الطرق التقريبية فى الحل. وسيتم فى تلك الحالة استخدام طريقة المحاولة والخطأ عن طريق فرض قيم مختلفة للمجهول T_a والتعويض بها فى المعادلة السابقة لإيجاد قيم لأحد المتغيرات المعلومة وليكن شدة الإشعاع الشمسى I. ويتم مقارنة القيمة المحسوبة لـ I مع القيمة المعطاة حتى نحصل على فرق بين القيمتين يمكن إهماله أو إدخاله فى نسبة الخطأ المسموح بها.

ومعدل التهوية المستخدم داخل الصوبة عبارة عن حجم الصوبة مضروباً فى معدل التبادل الهوائى أى أن معدل التهوية:

$$V = A_f(Z)(G)$$

$$V = 1000(m^2) * 3(m) * 0.75 \frac{1}{min} \times \frac{1}{60}\left(\frac{min}{s}\right)$$

$$= 37.5 \quad m^3 / s$$

ويمكن تحويل معدل التهوية من وحدات حجوم إلى وحدات أوزان باستخدام الحجم النوعى للهواء. وبفرض أن المراوح المستخدمة فى عملية التهوية من النوع الضاغط، فإن الحجم النوعى للهواء υ يمكن إيجاده من الخريطة السيكرومترية بمعلومية خواص الهواء الخارجية ($RH_o = 60\%$, $T_o = 18^oc$). ويكون معدل التهوية بوحدات الأوزان كما يلى:

$$m = \frac{V}{\upsilon}$$

$$= \frac{37.5(\frac{m^3}{s})}{0.83(\frac{m^3}{Kg})}$$

$$\therefore m = 45.2\ Kg/s$$

وبالتعويض فى معادلة الاتزان الحرارى السابقة بالقيم المعطاه فى المسألة، فإنه يمكن الوصول إلى العلاقة التالية:

$$I_c = 10.6(T_a - 291) + 7.2\left[\left(\frac{T_a}{100}\right)^4 - 61.7\right] \quad (٧،٣٢)$$

حيث:

I_c : القيمة التى سيتم حسابها لشدة الإشعاع الشمسى.

T_a : درجة حرارة الهواء المطلقة داخل الصوبة.

ويمكن تلخيص خطوات حل المسألة فى النقاط التالية:

١- يتم فرض قيمتين لدرجة الحرارة المراد التنبؤ بها T_a إحداهما تمثل أقصى درجة حرارة متوقعة لـ Ta وتسمى T_{max} والأخرى تمثل أدنى درجة حرارة متوقعة لـ T_a وتسمى T_{min}.

٢- يؤخذ متوسط قيمتى درجتى الحرارة وتسمى T_{avg} أى أن:

$$T_{avg} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

٣- يتم التعويض بالقيمة T_{avg} فى المعادلة رقم (٧،٣٢) لحساب I_c.

٤- يتم حساب قيمة الفرق بين I_c و I ويسمى Error.

أى أن:

$$Error = I_C - I$$

٥- إذا كانت قيمة الـ Error صفراً أو تقع داخل نسبة الخطأ المسموح بها ولتكن ± ٠,٥٠ فإن درجة حرارة الهواء داخل الصوبة المطلوبة هى:

$$T_a = Tavg$$

٦- إذا كانت قيمة Error فى الخطوة رقم (٤) أكبر من النسبة المسموحة فإنه يجب تكرار الحل كما يلى:

أ- إذا كانت إشارة Error موجبة فإن هذا يعنى أن قيمة T_{avg} التى تم التعويض بها فى المعادلة رقم (٧،٣٢) أكبر من المطلوبة وعليه فإنه لابد من خفض تلك القيمة عن طريق حساب T_{avg} جديدة كالتالى:

$$\bar{T}_{avg} = \frac{T_{avg} + T_{min}}{2}$$

ب- يعوض بقيمة $\bar{T}_{avg}$ مرة أخرى فى المعادلة رقم (٧،٣٢) ويتم حساب I_c مرة أخرى ومنها يحسب Error.

جـ- أما إذا كانت إشارة الـ Error فى الخطوة رقم (٤) سالبة فإن هذا يعنى أن قيمة Tavg التى تم التعويض بها أصغر من المطلوبة وعليه، فإنه لابد من زيادة تلك القيمة عن طريق حساب $\bar{T}_{avg}$ الجديدة كالتالى:

$$\bar{T}_{avg} = \frac{T_{avg} + T_{max}}{2}$$

د- يتم تكرار مراحل الخطوة رقم (٦) حتى يتحقق الشرط الموجود فى الخطوة رقم (٥).

والآن إذا فرض أن درجة الحرارة العظمى والصغرى هما ٣٣٠ و ٣٠٠ درجة مطلقة على الترتيب،فإنه يمكن تلخيص نتائج الحسابات في الجدول التالي:

I	T_{max}	T_{min}	T_{avg}	I_c	Error
650	330	300	315	5191	-131
	330	315	322.5	669	+19
	322.5	315	318.75	593	-57
	322.5	318.75	320.6	630	-20
	322.5	320.6	321.55	649.3	-0.7
	322.5	321.55	322.01	658.6	+8.6
	322.01	321.55	321.78	653.9	+3.9
	321.78	321.55	321.66	651.5	+1.5
	321.66	321.55	321.6	650.3	+0.3

وحيث أن قيمة الـ Error الأخيرة تعادل +٠,٣ أي تقع داخل المدى المسموح به لنسبة الخطأ في المسألة وهو ± ٠,٥، فإن درجة الحرارة المتنبأ بها للهواء داخل الصوبة تكون:

$$T_a = 321.6\ k$$

$$= 48.6^{\circ}c$$

ويلاحظ أن إستخدام الحاسبات الآلية قد سهل من إجراء تلك الحسابات عن طريق تطوير برامج باستخدام أحد لغات الحاسب لحل تلك المسألة. وهناك العديد من البرامج التي تم فعلاً تطويرها، ولكن ليس هذا المجال مناسباً للحديث عنها.

الفصل الثامن

نظم التدفئة والتبريد

الفصل الثامن

نظم التدفئة والتبريد

تطرقنا فى الفصل السابق إلى كيفية حساب معدل التهوية المطلوب داخل الصوبة سواء كان ذلك المعدل للتحكم فى درجة الحرارة أو نسبة الرطوبة للهواء داخل الصوبة. ولكن فى كثير من الأحيان قد تكون عملية التهوية فقط غير كافية للتحكم فى الظروف البيئية داخل الصوبة. فقد تكون هناك الحاجة إلى تدفئة بجانب التهوية وخاصة فى فصل الشتاء، بينما قد تكون الحاجة إلى عملية تبريد مع التهوية فى فصل الصيف. ويمكن استخدام معادلة الاتزان الحرارى لظروف الحالة المستقرة فى الفصل السابع ـ معادلة رقم (٧،١) ـ لحساب حمل التدفئة المطلوب للصوبة، Q_f، عند استخدام معدل تهوية محدد، وذلك كما أوضحنا فى المثال فى الفصل السابق. وقد تكون الصوبة فى حاجة إلى عملية تبريد ـ وليست تدفئة ـ وذلك بناء على المجموع الجبرى لمكونات المعادلة. فإذا كان ناتج قيمة Q_f موجبة فإن ذلك يعنى أن الصوبة فى حاجة إلى عملية تدفئة، بينما إذا كان ناتج قيمة Q_f سالبة، فإن هذا يعنى أن الصوبة فى حاجة إلى عملية تبريد. أما مقدار Q_f فإنه يعكس حجم أو حمل التدفئة (أو التبريد) المطلوب.

وهناك بعض الوسائل التى يمكن عند تطبيقها التوفير فى الطاقة اللازمة للتدفئة أو التبريد، مما يساعد بشكل فاعل على تحقيق قدر أكبر من التحكم فى درجة الحرارة داخل الصوبة، ومن هذه الوسائل[٢]:

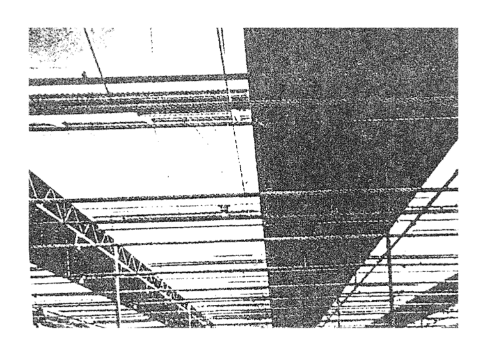
١- اختيار التصميم المناسب بما يلائم الظروف الجوية السائدة فى المنطقة وتحديد اتجاه الصوبة بناء على ذلك.

٢- اختيار الغطاء والشكل المناسب لتأثيرهما على كمية الطاقة النافذة إلى داخل الصوبة، وكذلك تأثيرهما على الفقد الحرارى من داخل الصوبة إلى الخارج.

٣- استعمال شباك التظليل لتغطية الصوب بنسب تظليل حسب الحاجة وذلك لتوفير احتياجات التبريد، وذلك كما هو موضح بالشكل رقم (٨،١).

٤- يمكن تدفئة النباتات ليلا عن طريق ملء أنابيب بلاستيكية واسعة بالماء ووضعها على سطح التربة بالقرب من خطوط الزراعة حيث أن ارتفاع الحرارة النوعية للماء يؤدى إلى اكتساب الماء الحرارة نهارا وفقدها ليلا بالإشعاع داخل الصوبة.

٥- الأهتمام بإجراء أعمال الصيانة الدورية لكل من هيكل وغطاء الصوبة مثل تغيير الزجاج المكسور وسد الفتحات أو الثقوب على جوانب الصوبة.



شكل (٨،١): شبك التظليل فى الصوب الزراعية ويمكن التحكم فى المساحة المظللة آلياً

طرق التدفئة

هناك العديد من طرق التدفئة التى تستخدم فى الصوب الزراعية نذكر منها:

١- التدفئة بأنابيب الماء الساخن وأنابيب البخار:

يعتمد كلا النظامين على تسخين الماء فى غلايات، ثم نقله فى أنابيب خاصة إلى داخل الصوبة التى تتم تدفئتها عن طريق الإشعاع والحمل الحرارى من على سطح الأنابيب.وقد يكون النظام المستخدم بواسطة الدفع بواسطة الجاذبية أو الدفع مع التقليب. وعادة يوجد فى نظام الدفع بواسطة الجاذبية أنبوبتان رئيسيتان، تعمل الأولى على تزويد الماء الساخن من الغلاية إلى المشعات، بينما تعمل الأخرى على عودة الماء البارد إلى الغلاية. ولابد من تركيب الغلاية فى ذلك النظام عند مستوى أقل من أقل المشعات ارتفاعا. ويجب تركيب الأنابيب بميول بحيث يعود الماء المتكثف مرة أخرى إلى الغلاية.

أما فى نظام تقليب ـ مدفوع، فيرتفع الماء إلى أعلى داخل الغلاية، لأنه الأقل وزناً حيث يتم دفعه باستمرار بواسطة الماء البارد الأثقل وزنا والداخل إلى الغلاية. ويلاحظ أن أستخدام مضخة ومحرك كهربائى وأجهزة تحكم مع هذا النظام سوف تؤدى إلى زيادة التكلفة عن نظام الدفع بالجاذبية.

ويمكن استخدام نظام ذو أنبوبة واحدة او أنبوبتين مع نظم التدفئة بالبخار، حيث يخدم خط الماء فى نظام الأنبوبة الواحدة كلا من عمليتى تزويد ورجوع البخار مما يشكل دائرة مغلقة من وإلى الغلاية. كما يتم تركيب محبس بخار آلى عند فتحة الرجوع لكل مشع للمحافظة على البخار داخل المشع. كما يسمح المحبس كذلك بتجمع الماء المتكثف فى أنابيب الرجوع. ولابد أيضاً من أن يكون مستوى الغلاية أقل من أقل مستويات المكان

ارتفاعاً، إلا إذا استخدمت مضخة للعمل على إرجاع الماء المتكثف إلى الغلاية.

٢- التدفئة بتيارات الهواء الدافئ:

يستخدم مع ذلك النظام دفايات كهربائية أو وحدات تعمل بالنفط أو الغاز، كما تستخدم مراوح كهربائية لتحريك الهواء الدافئ إلى مكان الاستخدام. وتتم عملية التدفئة مع المواقد بدون أغطية أساساً بواسطة الإشعاع. أما بالنسبة للدفايات ذات الأغطية، فتتم التدفئة أساساً بواسطة الحمل حيث يتم تقليب الهواء فى المنطقة ما بين الموقد والغطاء من خلال فتحات عند كل من القمة والقاع.

وتستخدم مروحة تقليب فى حالة استخدام نظام هواء - دافئ مع التقليب. فتعمل تلك المروحة على تقليب الهواء وزيادة كفاءة وحدة التدفئة. ويمكن مع ذلك النظام استخدام مواسير ضيقة طويلة وأفقية. كما يمكن استخدام منقى للهواء، نظراً لتوافر ضغط إيجابى متولد من المروحة.

وهناك نوع آخر من الدفايات تعمل على حركة الهواء بواسطة الجاذبية.ونظراً لأن تلك الأنواع من الدفايات تعتمد على الحمل الطبيعي، فإنه لابد من تركيب تلك المواقد عند مستويات أقل من مستوى الحيز. ويرجع السبب فى ذلك إلى أن عملية تقليب الهواء تعتمد على الفرق فى الوزن بين كل من الهواء البارد والدافئ. ويجب تخطيط هذا النظام بعناية حتى يتسنى الحصول على توزيع جيد لهواء التدفئة. كما يحتاج ذلك النظام أيضاً إلى تركيب مواسير لإعادة الهواء البارد بين الحيز والموقد لتوفير تقليب جيد للهواء.

٣- المدافئ الكهربائية

تعتبر تلك الطريقة أنظف وأسهل طرق التدفئة. ولكن يعاب عليها ارتفاع قيمة تكاليفها. وقد تستخدم المدافئ الكهربائية معلقة على الحوائط أو في صورة كابلات تدفئة تدفن في الأرض. ويمكن أيضا استخدام وحدة التبريد الميكانيكي (المضخة الحرارية) في عمليات التدفئة. وتمتاز المضخات الحرارية بكونها تتيح التدفئة في فصل الشتاء والتبريد في فصل الصيف. وعامة يتم استغلال الحرارة المتولدة من المدافئ الكهربائية مباشرة بواسطة أنابيب إشعاع أو بواسطة الدفع باستخدام المراوح.

٤- مدافئ الكيروسين

تستخدم في الصوب الزراعية صغيرة الحجم، وهي قليلة التكاليف وسهلة الاستعمال. ولكن يعاب عليها أنه لا يمكن ربط تشغيلها بمنظم للحرارة، بالإضافة إلى انطلاق الغازات السامة التي تضر بالنباتات[٢].

٥- التدفئة بإشعة الشمس

يعمل نظام التدفئة بالطاقة الشمسية على مبدأ تخزين الحرارة الناتجة من أشعة الشمس نهاراً بواسطة تسخين الماء وحفظه في خزانات لإعادة أستخدامه في التدفئة ليلاً. وتصمم المجمعات الشمسية لتدفئة أنواع عديدة من المنشآت الزراعية ولكن يعيب على تلك الطريقة تأثرها بكمية السحب المتجمعة في الجو وهناك عمليات تقييم مستمرة لنظم تخزين الطاقة.. حيث أن الهدف هو تخزين الطاقة للإستخدام عندما تصبح درجات حرارة الجو منخفضة.

ويعمل نظام التدفئة باستخدام الطاقة الشمسية بواسطة مجموعة من الألواح الخاصة المطلية باللون الأسود لزيادة قدرتها على امتصاص الحرارة التي يتم نقلها بالتوصيل عن طريق طبقة رقيقة من الماء تمر بداخلها. ويتم

دفع الماء الساخن فى أنابيب التسخين إلى خزان بواسطة مضخة. وتقوم مضخة أخرى بسحب الماء الساخن إلى داخل الصوبة عن طريق شبكة من الأنابيب الخاصة بالتدفئة.

نظم التبريد

هناك العديد من طرق التبريد التى تستخدم فى تبريد بيئة الصوب الزراعية خاصة فى فصل الصيف. وترجع أهمية التبريد إلى أنه يعمل على خفض درجة حرارة الهواء داخل الصوبة إلى المستويات المطلوبة لإنتاج الخضر. وسوف نتطرق فى هذا الفصل إلى بعض طرق التبريد المستخدمة فى الصوب الزراعية.

١- التبريد الميكانيكى

تعتبر المكيفات الهوائية التى تستخدم موائع التبريد الشائعة مثل فريون -١٢ أو مركباته الأخرى غير ذى جدوى بالنسبة لاستخداماتها فى التطبيقات الزراعية. ويرجع السبب فى ذلك إلى خفض مستويات الرطوبة وإلى ارتفاع قيمة التكاليف الثابتة نظراً لكبر كميات الطاقة الشمسية الداخلة إلى الصوبة والواجب إزالتها. وهناك أيضاً مشاكل الصيانة المترتبة عن زيادة تراكيز الغازات والأتربة فى الأجواء المكيفة لذلك فهو مصنف غير عملى. (١٠)

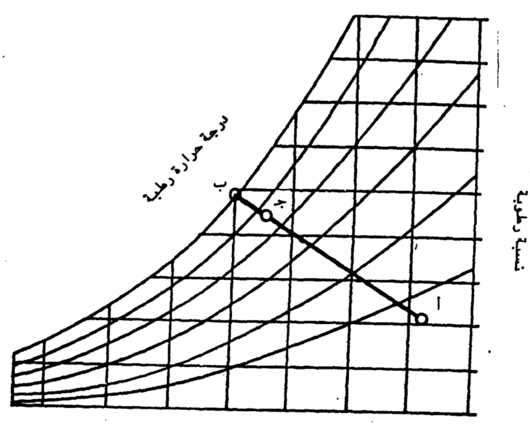
٢- التبريد التبخيرى

تعتبر عملية التبريد التبخيرى من الطرق شائعة الاستخدام فى الأجواء الحارة الجافة التى تعمل على خفض الإجهاد الحرارى فى المبانى الزراعية. ولقد أصبحت هذه العملية من أفضل طرق التبريد بالنسبة للتطبيقات الزراعية وخاصة فى الصوب الزراعية. فتستخدم نظم التبريد التبخيرى لتبريد وتشبع الهواء الداخلى، وتتحمل النباتات ـ بعكس الحيوانات ـ الرطوبة المرتفعة والمتولدة من عملية التبريد بالتبخير، نظراً لانخفاض ضغط الماء

التبخيرى عند سطح الأوراق. وتعتبر رطوبة نسبية من ٧٠ إلى ٨٠٪ مفضلة مع درجات حرارة تتراوح ما بين ٢١ و ٢٧°م. وتعتبر نظم التبريد التبخيرى أكثر ملاءمة من حيث زيادة رطوبة الهواء مع التبريد. فيعمل الوسط ذو الرطوبة المرتفعة على تقليل فقد الماء من النباتات وبالتالى تقليل أحتمالات الذبول.

ويمكن وصف عملية التبريد التبخيرى كما هو موضح بالشكل رقم (٨،١). فيحدث انتقال كل من الكتلة والحرارة عند تلامس هواء غير مشبع مع رطوبة حرة، والأثنان معزولان حرارياً عن أى مصدر حرارى خارجى[١]. ويطلق على ما يحدث بالانتقال أو التبادل الأدياباتى أو بالعملية الأدياباتية، نظراً لأنه لن يحدث أى تغيير للمحتوى الحرارى الكلى ولكن ما يحدث هو تحول حرارى من الصورة الكامنة إلى الصورة المحسوسة بدون أى أكتساب أو فقد للحرارة أى سوف يتم استخدام الحرارة المصاحبة لهواء التهوية فى تبخير الماء.. الأمر الذى يؤدى إلى خفض درجة حرارة الهواء وارتفاع رطوبته النسبية.ويحدث أنتقال الماء نتيجة للفرق بين ضغط البخار لسطح الماء الحر وضغط الهواء غير المشبع. كما يتضمن الانتقال حرارة تبخير تعمل على تغيير الحالة من سائل إلى بخار.

فإذا كانت النقطة (أ) على الخريطة السيكرومترية فى الشكل رقم (٨،٢) تمثل ظروف الهواء الخارجى الداخل إلى مبرد، فإن ظروف المخلوط تتبع تقريباً خط درجة الحرارة الرطبة حتى نقطة (ب) التى أصبحت مشبعة تماماً. أى أن عملية التبريد التبخرى تعمل على خفض درجة الحرارة الجافة وزيادة رطوبته النسبية وذلك عند ثبات درجة الحرارة الرطبة. وقد يخرج الهواء فى حالة عدم الوصول إلى التشبع الكامل عند الحالة (جـ). ويفترض فى الشكل السابق ظروف الحالة المستقرة مع عدم تغير درجة حرارة الماء المتداول.



شكل (٨،٢): إضافة رطوبة للهواء مع ثبات المحتوى الحرارى

ويمكن تحديد كفاءة المبرد المستخدم بمدى القرب من درجة التشبع أى بالنسبة بين درجة التشبع إلى أقصى درجة من التشبع كما يلى:

كفاءة المبرد = أ جـ / أ ب (٨،١)

ويتضح مما سبق أن عملية التبريد التبخيرى تتم بكفاءة فقط فى المناطق الحارة الجافة حيث تكون الرطوبة النسبية للهواء الداخلى منخفضة.

وبالرغم من وجود العديد من التصميمات المختلفة من نظم التبريد التبخيرى إلا أن من أهمها النظام "الضبابى" ونظام "وسادة ـ مروحة".

(أ) التبريد الرذاذى (أو الضبابى)

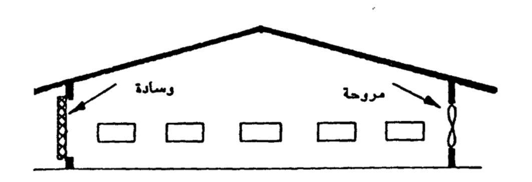
وفيه يتم دفع الماء من خلال بشابير ذات أقطار دقيقة للغاية ، فيخرج الماء منها على شكل رذاذ دقيق جدا أو ضباب ... الأمر الذى يؤدى إلى سهولة تبخره وبالتالى خفض درجة حرارة الهواء ورفع رطوبته النسبية. ويعتبر الفرق بين الرذاذ والضباب فرق فى حجم قطرة الماء. ويلاحظ أن كفاءة تبريد ذلك النظام تعتمد على حجم قطرة الماء. فحجم قطرة الضباب أصغر من حجم قطرة الرذاذ. فبينما يتراوح قطر قطرة الرذاذ ما بين ٥٠-١٥٠ ميكرون، نجد أن قطر قطرة الضباب يتراوح ما بين ٠,٥ - ٥٠ ميكرون. ويمكن الحصول على الضباب عن طريق دفع الماء داخل البشابير عن ضغوط مرتفعة قد تصل إلى ٦٠٠ كيلو بسكال. ويلاحظ أن قطرات الضباب تظل معلقة فى الجو وتتبخر قبل أن تصل إلى الأرض، بينما يتم تبخير قطرة الرذاذ أثناء سقوطها إلى الأرض. ويمكن الأستفادة من التبريد الرذاذى أيضاً فى تزويد النباتات بجزء من احتياجاتها من مياه الرى.

ويمتاز نظام التبريد الرذاذى بانخفاض قيمة التكاليف الأساسية وسهولة تركيبه داخل المنشأت الزراعية، حيث لا يتطلب ذلك النظام أى تجهيزات خاصة مسبقة. كما يمتاز النظام أيضاً بانخفاض معدلات الاستهلاك من مياه التبريد وذلك بالمقارنة بنظم التبريد الأخرى. ويرجع السبب فى ذلك إلى معظم ـ إن لم يكن كل ـ المياه التى يتم تزويدها أو تضبيبها يتم تبخيرها وتستخدم فى تبريد الهواء. ولكن يعاب على ذلك النظام ـ مثله مثل أى نظام تبريد تبخيرى ـ انخفاض كفاء التبريد فى الأجواء الرطبة .. حيث يفضل استخدامه فى الأجواء الحارة القاحلة أو الجافة. كما يحتاج ذلك النظام أيضا

إلى صيانة وعناية مستمرة بالأجهزة الحساسة الموجودة فى النظام مثل البشابير وطلمبة المياه وخاصة فى حالة استخدام المياه المعالجة فى التبريد.

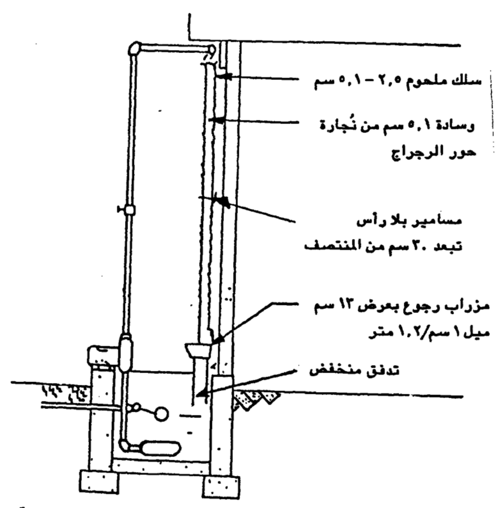
(ب) نظام "وسادة ـ مروحة"

يعتبر نظام التبريد ذو المروحة والوسادة من أكثر نظم التبريد الشائعة الاستخدام. ويتكون ذلك النظام من وسادة التبريد وحوض مائى وطلمبة تغذية وذلك كما هو موضح بالشكل رقم (٨،٣)[١]. وهناك أنواع عديدة من المواد التى تستخدم فى صنع وسادة التبريد منها الخشب والمعادن والزجاج، وحديثا يتم استخدام البلاستيك والأسمنت. وغالبا ما يتم استخدام المواد المسامية، نظراً لأن تلك المواد تعمل على ضمان توزيع جيد للماء وبالتالى ارتفاع كفاءة التبريد. ويفضل أيضاً فى استخدام المواد المصنوعة منها الوسائد أن تكون مقاومة للترهل والتفسخ وأن تكون قادرة أيضاً على المحافظة على تماسكها وشكلها الأصلى. ويعتبر نجارة خشب حور الرجراج من أفضل المواد استخداماً كوسائد. ولكن يعتبر تعفن المواد الخشبية المشكلة الرئيسية التى تؤدى إلى فقدان الكثير من كفاءة تلك المواد. ويلاحظ أنه للوصول بكفاءة المبرد إلى مستويات مرتفعة، فإن يجب تعريض أقصى مساحة مبللة ممكنة من المادة المسامية للهواء البارد وبعمق يسمح بالحصول على زمن كاف من تلامس الماء والهواء.

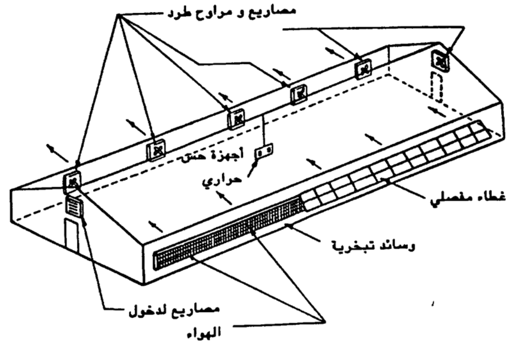


شكل (٨،٣): نظام وسادة ومروحة مع تركيب الوسائد رأسياً

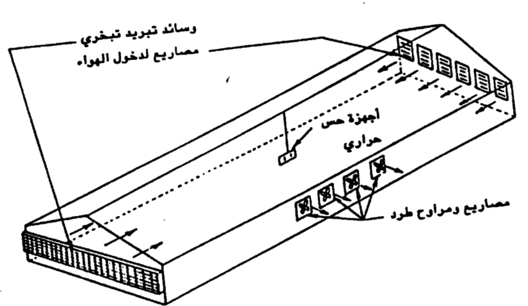
وغالبا ما يتم تركيب وسادة التبريد رأسيا بطول أحد حوائط الصوبة سواء كان ذلك الحائط جانبى (الشكل رقم (٨،٤) أو حائط نهائى - الشكل رقم (٨،٥) - بينما يتم تركيب المراوح الطاردة لهواء العادم على الجانب المقابل - وينصح بتركيب الوسادة أفقيا - الشكل رقم (٨،٦) فى حالة الاستخدام فى مناطق ذات تراكيز أتربة مرتفعة.. حيث يؤدى استخدام نظام تنقيط مع وسادة رأسية إلى أنسداد كامل للوسادة بجزئيات الأتربة. ويوصى بان يكون ارتفاع الوسادة - فى حالة الاستخدام رأسيا - فى الحدود ما بين ٠,٥ إلى ٢,٥ مترا، وذلك لضمان الحصول على توزيع منتظم لسريان الماء.



شكل (٨،٤): نظام وسادة رأسية يستخدم مع العديد من الصوب الزراعية



شكل (٨،٥): مراوح طرد مركبة على حائط جانبى ووسادة التبريد على الحائط الجانبى المقابل مع غطاء مفصلى أو مصاريع مداخل هوائية.

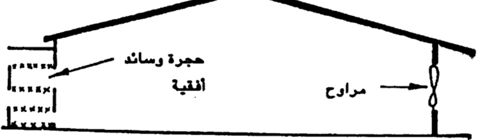


شكل (٨،٦): مراوح طرد مركبة على الحائط الجانبى مع مصاريع مداخل هوائية ووسادة تبريد على الحوائط النهائية

ويتم تحديد حجم وعدد المراوح المطلوبة وكذلك المسافات فيما بينها بعد اختيار سعة كل من المراوح والوسائد. ويرجع السبب فى ذلك إلى ضمان الحصول على توزيع منتظم لسريانات الهواء عبر الصوبة. فيجب أن لا تزيد سرعة الهواء عبر النباتات المزروعة عن ١(م/ث)[١٢]. ويجب أيضاً أن لا تزيد المسافات بين كل مروحتين متتاليتين على ٧,٥ متر. كما يجب أن تركب المراوح على الجانب المقابل للرياح، وأن يتم تغطيتها بستائر محكمة الغلق لمنع حدوث تلفيات للنباتات من جراء هواء الشتاء البارد.

ويتم فى حالة تركيب وسادة أفقية الشكل رقم (٨،٧) ترذيذ الماء على كل مساحة الوسادة للحصول على الإبلال الكامل. كما تؤدى عملية الترذيذ أيضاً إلى عملية غسيل مستمرة للوسادة. ويتم دفع الهواء فى هذه الحالة إلى أعلى أو إلى أسفل من خلال الوسادة، ثم بعد ذلك أفقيا أو بزاوية محددة إلى المنطقة المراد تبريدها.

وتعمل زيادة كثافة الوسادة على تحسن المسامية الكلية، مما يؤدى إلى توزيع أكثر انتظاماً للماء، ويعتبر استخدام ٣٢ كجم من النجارة لكل متر مكعب مستوى مثالى لاستخدام الكثافة. وتعتبر سرعة دخول أو خروج الهواء من الوسادة من المتغيرات التصميمية التى تستخدم فى حساب المساحة السطحية للوسادة. ويبين الجدول رقم (٨،١) بعض قيم سرعات الهواء الموصى باستخدامها بالنسبة للمواد النموذجية والمستخدمة فى عمل الوسائد.[٩]



شكل (٨،٧): نظام وسادة ومروحة مع مجموعة من الوسائد الأفقية

جدول (٨،١) سرعات هواء يوصى باستخدامها خلال مواد وسادات متغيرة

النوع	سرعة الهواء خلال الوسادة	
	م/ث	قدم/ث
ألياف حور رجراج معلقة رأسيا سماكة ٥٠ –١٠٠ مم	٠,٧٥	٢,٥
ألياف حور رجراج معلقة أفقيا سماكة ٥٠ – ١٠٠ مم	١,–	٣,٣
سيلولوز معرج (سمك ١٠٠مم)	١,٢٥	٤,٢
سيلولوز معرج (سمك ١٥٠مم)	١,٧٥	٥,٨

ويجب اختيار حجم الوسادة بحيث يحتاج إلى واحد متر مربع من المساحة لكل ٠,٧٥ (م٣/ث) من سعة المروحة، وذلك فى حالة تركيب الوسادة فى وضع راسى. كما يحتاج إلى واحد متر مربع لكل واحد (م٣/ث) إذا تم تركيب الوسادة أفقياً. ويجب أن تركب الوسائد مستمرة بطول الحائط مع عدم وجود أى فراغات بين الوسائد.

ويفضل أن يكون ارتفاع مستوى قمة الوسادة متناسباً مع ارتفاع سطح قمة النباتات داخل الصوبة. ولا يحبذ وجود أى ارتخاء أو ترهلات للوسائد، كما ولابد من المحافظة على الإبلال الكامل للوسائد وتجنب وجود أى بقع جافة. ولابد أيضاً من توافر وسائل تمنع سريان الهواء من خلال الوسائد فى الأجواء الباردة عن طريق وضع ألواح تهوية ذات مفصلات على الحائط الجانبى فوق الوسائد بحيث يتم فتح تلك الهوايات يدويا عند الحاجة إلى تبريد.

وتوصى معظم المراجع العلمية باستخدام سرعة للهواء عند وجه الوسادة تعادل ١,٢٥ (م/ث) بالنسبة للوسائد الرأسية وتقريباً ١,٥ (م/ث)

بالنسبة للوسائد الأفقية. ويلاحظ أن استخدام سرعات أكبر من ١,٥ (م/ث) قد يؤدى إلى سحب قطرات ماء حرة دون تبخير إلى المجرى الهوائى. وتوضح مطبوعات المصانع أن الوسائد ذات الأخاديد الورقية لها كفاءات أعلى من ٨٠٪ بالنسبة لسرعات عند وجه الوسادة حتى ٠,٨ (م/ث) وعمق وسادة ١٥سم. وقد تصل الكفاءة إلى أعلى من ٩٠٪ عند سرعة وجه ١,٨ (م/ث) وعمق وسادة ٣٠ سم، وقد سجلت المطبوعات باستخدام سرعة عند وجه الوسادة ٠,٧٥ (م/ث) بالنسبة للوسائد المصنوعة من تفل قصب السكر والمغطاة بطبقة من الأسمنت.

ويعتبر معدل سريان الماء على الوسائد من العوامل التى تؤثر تأثيراً جوهرياً على كفاءة التبريد. فقد تنخفض كفاءة التبريد لحظياً فى حالة عدم تشبع الألياف بالماء، نظراً لقلة الرطوبة المتاحة بالنسبة للهواء المار. وقد تترسب أيضاً المعادن الموجودة فى الماء على الألياف بدلاً من انجرافها مع الماء فى حالة تبخر كل المياه التى تصل إلى الألياف.. الأمر الذى يؤدى إلى خفض الكفاءة. ويمكن الحصول على معدل السريان الأمثل تحت أى ظروف، ولكن تعتبر معدلات السريان الزائدة أقل ضرراً من استخدام معدل سريان ماء غير كاف. فهناك ميزة الغسيل المستمر للوسادة عند استخدام معدلات سريان زائدة.. هذا بالإضافة إلى خفض احتمالات انسداد مسامات الوسادة بالأتربة وتراكم الأملاح. ويبين الجدول رقم (٨،٢) بعض القيم الخاصة بمعدلات السريان والموصى باستخدامها بالنسبة لأنواع الوسادات المختلفة[٩].

جدول (٨،٢). معدل سريان الماء وسعة الخزان الموصى باستخدامهما بالنسبة لوسائد تبريد معلقة.

نوع الوسادة والسماكة	أقل معدل سريان للماء لكل متر طولى من الوسادة (لتر /دقيقة.م)	أقل سعة للحوض المائى لوحدة المساحات من الوسادة (لتر/م^{2})
ألياف حور رجراج معلقة رأسياً (سماكة ٥٠-١٠٠مم)	٤	٢٠
ألياف حور رجراج معلقة أفقياً (سماكة ٥٠-١٠٠مم)	٥	٢٠
سيلولوز معرج (سماكة ١٠٠مم)	٦	٣٠
سيلولوز معرج (سماكة ١٥٠مم)	١٠	٤٠

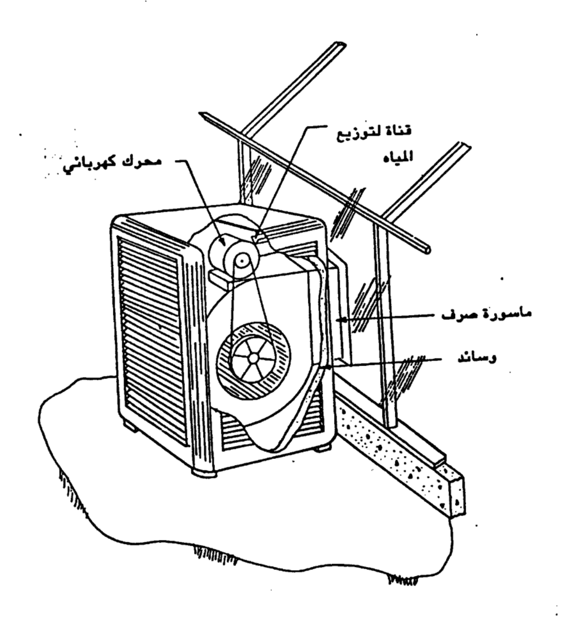
ولابد من وجود حوض مائى وصمام ارتجاع لتوليد معدل ماء مرتجع والاقتصاد فى استهلاك المياه. ويتوقف حجم الحوض المائى إلى حد ما على نوع المضخة ونوع الوسادة ومعدل الارتجاع. ويلاحظ أن وجود معدل ارتجاع للماء يحافظ على سطح الوسادة مبللاً باستمرار. ويعرف معدل دوران الماء المطلوب على أنه المعدل الذى يفى بحاجة الوسائد. ويعتمد معدل الماء المرتجع على مقدار ما يحتويه من تراكيز للمعادن. ويعتبر استخدام معدل ارتجاع ٨ (لتر/ساعة) لكل (م^{3}/ث) من سريان الهواء معدلاً مقبولاً فى

التطبيقات الزراعية[١]. وعادة ما ينتج عن ذلك تركيز للمعادن فى الماء داخل الحوض يعادل ثلاث مرات التركيز الموجود فى الماء الخارجي.

وقد يفضل بعض المهتمين بهذا المجال استخدام نظام الضخ الخارجى بدلاً من نظام الارتجاع. وذلك للمحافظة على الماء نظيفا نسبيا. كما يفضل استبدال المصدر المائى المتجمع داخل الحوض على فترات دورية للمحافظة على الماء نظيفاً.

(جـ) الوحدات المتكاملة للتبريد التبخيرى (المكيفات الصحراوية)

تتكون وحدة التبريد التبخيرى المتكاملة ـ كما فى الشكل رقم (٨،٠٨)، من مروحة ضغط مركزى تدفع الهواء إلى الصوبة ووسادة رقيقة مركبة على السياج الخاص بالوحدة ومضخة داخل الوحدة تقوم بتزويد الماء على الوسائد. ويتم صرف الماء الزائد إلى قاع الوحدة الذى يعمل كخزان مائى. ويعاب على تلك الوحدات عدم انتظامية توزيع الهواء البارد والداخل إلى الصوبة. وعادة ما يتم تركيب تلك الوحدات على أحد حوائط الصوبة الجانبية أو النهائية، بينما تركب المصاريع على الحائط المقابل. وغالبا ما تكون تلك الوحدات محدودة الاستخدام داخل الصوب الصغيرة وغير مخصصة للإنتاج التجارى، نظراً لعدم انتظامية توزيع الهواء داخل الصوبة.



شكل (٨،٨): وحدة تبريد تبخيرى متكاملة (المكيف الصحراوى)

الخلاصة

لقد هدف إعداد هذا الكتاب ليكون أولاً مقرراً لطلبة الهندسة الزراعية، وأن يكون أيضاً مرجعاً مفيداً للتعليم الجامعى وللدارسين فى المعاهد الفنية والقائمين على إدارة وتشغيل المنشآت الزراعية. ويعد الكتاب عموماً شاملاً وذا عمق من حيث الإلمام بالمفاهيم البينية الخاصة بالصوب الزراعية وغزارة المعلومات الأساسية، وقيما كذلك فى جوانب علمية وتطبيقية متعددة.

وقد تضمن هذا الكتاب فى تخطيطه التنظيمى أولاً شرح لكل الظروف المحيطة بالصوبة الزراعية من طاقة شمسية وهواء. فقد تضمن الفصل الثانى تقديم معلومات أساسية عن الشمس وطاقتها الحرارية، بينما تضمن الفصل الثالث فهماً لطريقة إيجاد خصائص الديناميكا الحرارية للهواء الرطب والتى تعتبر ضرورية لتوفير المعلومات الأساسية الخاصة بعمليات تكييف الهواء.

وقد تضمن الفصل الرابع التعريف بالصوب الزراعية من حيث الأنواع ومواد الإنشاء وقد بدأ الحديث بعد ذلك عن التحدث عن عملية التهوية للصوب الزراعية حيث تعتبر من أهم عمليات نظم تهيئة البيئة بالنسبة للمنشآت الزراعية الخاصة بالإنتاج الحيوانى والنباتى عامة، وللصوب الزراعية خاصة.

ونظراً لأهمية التهوية فقد أفرد لها عدة فصول. وقد تضمن تصميم نظام تهوية محدد المعلومات عن الأجهزة وأدوات التحكم الخاصة بالتهوية داخل الصوبة (الفصل الخامس)، كيفية اختيار وتصميم نظام تهوية محدد (الفصل السادس)، ثم إيجاد معدل االتبادل الهوائى وسعة المراوح (الفصل

السابع). وقد تحتاج الصوبة أيضاً إلى عملية تدفئة إضافية فى فصل الشتاء أو عملية تبريد فى فصل الصيف.. وقد أفرد لها الفصل الثامن.

وأخيراً أرجو أن أكون قد وفقت فى تقديم عمل مفيد، والله من وراء القصد.

الفصل التاسع

مصادر الطاقة المتجددة

الفصل التاسع

مصادر الطاقة المتجددة

يعتبر البترول ومشتقاته من أهم مصادر استخدام الطاقة، نظراً لاحتوائه على أكبر كمية طاقة متوافرة فى وحدة الحجوم وذلك بالمقارنة بأى مصادر تقليدية أخرى للطاقة، كما أنه سهل الاستخراج والنقل. ولكن يعاب على ذلك المصدر أن المخزون منه فى باطن الأرض محدود ويتوقع ندرته خلال فترة لاتتعدى المائة عام. وتشهد أسواق البترول أزمات وتذبذبات حادة فى أسعاره مما يؤثر على اقتصاديات دول العالم ولاسيما الدول الصناعية الكبرى التى تعتمد على البترول ومشتقاته فى تشغيل مصانعها. وقد بدأت الدول المتقدمة فى محاولة لاستخدام الطاقة النووية فى الأغراض السلمية كمصدر من مصادر الطاقة، إلا أن ذلك المصدر يعتبر أيضاً غير متاح للجميع، نظراً لارتفاع تكلفة التشييد والتشغيل والحاجة إلى نقل تقنيتها الحديثة من مواد تشغيل وتحكم. كما يصعب أيضاً استخدام ذلك المصدر بسهولة خاصة فى حالة إمداد الطاقة لحيازات صغيرة.

وقد بدأ العالم فى البحث عن مصادر أخرى بديلة للطاقة يمكن توفيرها بكميات كبيرة وبتكلفة منخفضة. وقد بدأ التفكير فى استخدام الطاقة المتجددة من مصادرها الطبيعية مثل الشمس والرياح ومساقط النهار، وكذلك الطاقة المختزنة فى الأرض وطاقة الكتلة الحية. وسوف نتطرق فى هذا الفصل بقليل من التفصيل إلى شرح وتصنيف لتلك الطاقات.

أولاً: الطاقة الشمسية:

تعتبر الطاقة الشمسية أحد المصادر الرئيسية من مصادر الطاقة المتجددة. ويمكن تحويل الطاقة الشمسية ـ باستخدام التقنيات الحديثة ـ من موجات كهرومغناطيسية إلى شكل من أشكال الطاقة التى يمكن استغلالها فى تطبيقات المجالات المختلفة سواء كانت تلك التطبيقات صناعية أو زراعية أو حتى سكانية.

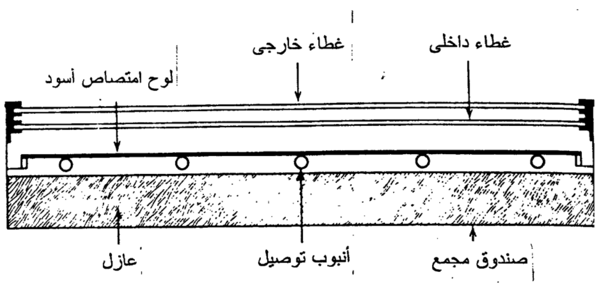
(أ) المجمعات الشمسية:

تستخدم المجمعات الشمسية لتحويل الطاقة الشمسية من صورة موجات كهرومغناطيسية إلى طاقة حرارية من خلال أجسام صلبة لها القدرة على امتصاص الأشعة الشمسية. ويمكن تلخيص الأساس الذى تعمل به المجمعات الشمسية فى النقاط التالية:

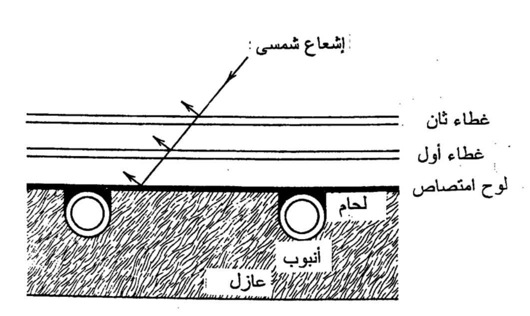
- استقبال أو اعتراض الإشعاعات الشمسية.
- تحويل تلك الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية.
- نقل الطاقة الحرارية بواسطة مائع ـ سواء كان ذلك المائع هواء أو سائل ـ من مكان التجميع إلى مكان الاستخدام أو التخزين.

وتتضمن معظم المجمعات الشمسية المركبات الأساسية التالية: جسم له القدرة على امتصاص الإشعاع الشمسى ـ غطاء من مادة شفافة تسمح بمرور الأشعة الشمسية ـ هيكل حامل لأجزاء المجمع ـ مائع ناقل للحرارة. ويوضح الشكل رقم (١ ، ٩) قطاعين رأسيين فى مجمع شمسى يحتوى على مركباته الأساسية.[١٤]

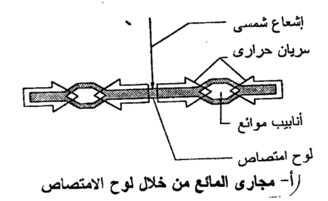
ويعتبر الجسم الماص للطاقة الشمسية أهم مركبة فى المجمع الشمسى. فعند سقوط الأشعة الشمسية على المجمع الشمسى.. تمر تلك الأشعة من الغطاء الشفاف الذى فى الغالب ما يكون من الزجاج أو المواد البلاستيكية، ثم يحدث امتصاص لتلك الأشعة فى الجسم المطلى باللون الأسود والماص لتلك الطاقة. وترتفع درجة حرارة الجسم الماص والذى بدوره يقوم بنقل طاقته الحرارية إلى مائع يتحرك فى أنابيب متصلة أو مخترقة للجسم الماص الأسود. ويوضح الشكل رقم (٢ ، ٩) كيفية ترتيب الأنابيب فى المجمع الشمسى والتى تحتوى على المائع الناقل للحرارة [١٨]، والذى فى الغالب ما يكون ماء أو ماء مضاف إليه مواد مانعة للتجمد.



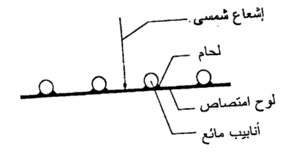
شكل (١أ،٩): قطاع رأسى فى مجمع شمسى سطحى



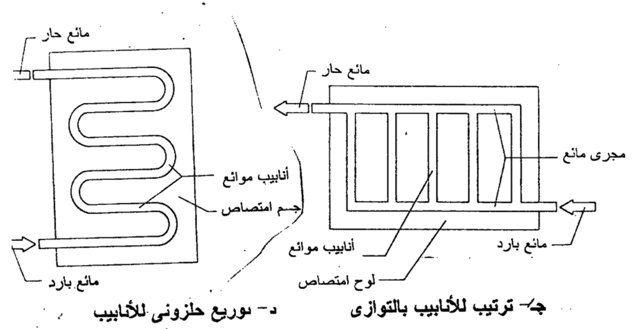
شكل (١ب ، ٩): المجمع الشمسى موضحاً به لوح الامتصاص الحرارى وأنابيب النقل الحرارى



أ- مجارى المائع من خلال لوح الامتصاص



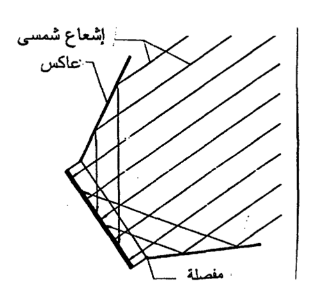
ب- لحام الأنابيب مع لوح الامتصاص



جـ- ترتيب للأنابيب بالتوازى د- توزيع حلزونى للأنابيب

شكل (٩،٢): مجمعات شمسية مسطحة تستخدم موائع للتبريد

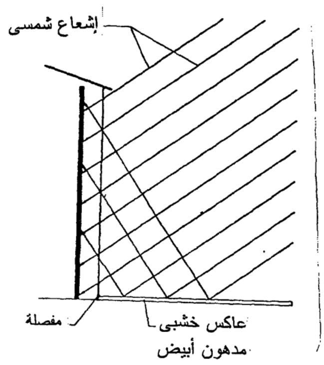
وتتوقف كمية الطاقة الحرارية الممتصة أساساً على مساحة المجمع الشمسى وزاوية ميل المجمع الشمسى تجاه الشمس. كما تتوقف أيضاً على الساعة من النهار التى تسقط فيها الأشعة الشمسية وعلى كمية السحب المتجمعة ، وأيضاً فصول السنة المختلفة. وتعتبر مصر من البلدان ذات السماء المشمسة حيث يقدر المتوسط اليومى للطاقة الشمسية الساقطة بحوالى ٦ (كيلو واط. ساعة/م^{٢}. يوم). وقد يضاف فى بعض الأحيان للمجمع الشمسى مجموعة من العواكس الشمسية تعمل على زيادة المساحة التى تعترض الأشعة الشمسية وكذلك تركيز الطاقة المتاحة ـ إلى حد ما ـ إلى المجمع الشمسى. وقد تكون العواكس عبارة عن ألواح معدنية تدهن باللون الأبيض أو تغطى بورق الألومنيوم. ويوضح الشكل رقم (٩،٣) كيفية تركيب العواكس مع المجمعات الشمسية.[١٨]



أ- مجمع شمسى محمى مع استخدام للعواكس

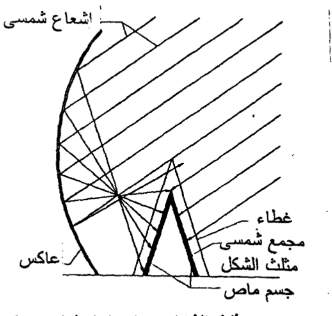
(يمكن ثنى العواكس لتغطية المجمع)

شكل (٩،٣): مجمعات شمسية مسطحة مع استخدام للعواكس



ب- مجمع حائطى محمى مع استخدام لعاكس أفقى

(يمكن ثنى العاكس لتغطية المجمع)



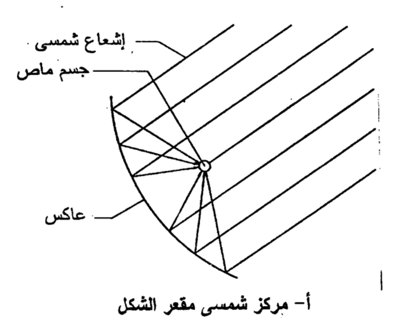
جـ- مجمع مثلث الشكل مع استخدام لعاكس مقعر

تابع شكل (٩،٣): مجمعات شمسية مسطحة مع استخدام للعواكس

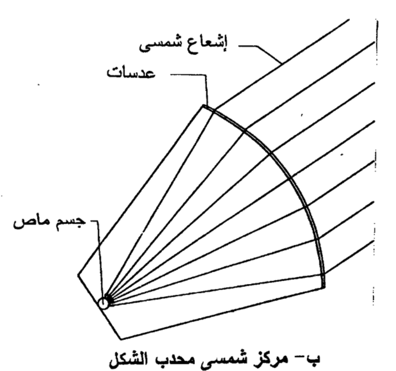
وهناك أيضاً المركزات الشمسية بواسطة العواكس المختلفة والتى تقوم بتركيز الطاقة الشمسية من مساحة سقوط كبيرة إلى مساحة امتصاص صغيرة نسبياً، الشكل رقم (٩،٤). وتقوم المركزات الشمسية بتسخين الموائع فى الأنابيب الماصة إلى درجات حرارة قد تصل إلى ١٠٠٠ °م. وقد تستخدم تلك الطاقة عادة فى توليد بخار للعمليات الصناعية وإنتاج الطاقة الكهربائية أو تشغيل المحركات. وتستخدم المركزات الشمسية فقط الطاقة الإشعاعية المباشرة وغير المباشرة. كما لابد من توجيه المرتكز الشمسى جهة الشمس للحفاظ على تركيز الأشعة جهة المرتكز الذى يحتوى على الجسم الماص للحرارة. وعلى ذلك فالمركزات الشمسية تحتاج دائماً إلى عمليات ضبط وتوجيه ناحية الشمس. كما لاتعمل المركزات الشمسية فى حالة تكاثر السحب نظراً لعدم استخدامها للأشعة المتبعثرة أو غير المباشرة. ويوضح الشكل رقم (٩،٥) الأنواع المختلفة للمجمعات الشمسية[١٨].

(ب) تخزين الطاقة الشمسية:

يعاب على استخدام الطاقة الشمسية كمصدر حرارى عدم توافرها على مدار الأربع وعشرون ساعة.. حيث يقتصر توافرها فقط أثناء ساعات النهار. وحتى أثناء النهار تتغير قيمة الطاقة الشمسية المتحصل عليها بحركة الشمس أثناء ساعات النهار، كما تعتمد أيضاً على نسبة تكاثر السحب فى السماء. ونظراً لأن معظم الاحتياجات الحرارية يتطلب توافرها على مدار اليوم وبكميات محددة.. بل أن أحمال التدفئة قد تكون مطلوبة أثناء الليل بمعدل أكبر منه أثناء النهار. فالمجمعات الشمسية توفر الطاقة الحرارية أثناء النهار فى أغلب الأحيان أكثر مما هو مطلوب، بينما تكون الطاقة الحرارية المطلوبة للتدفئة مثلاً أثناء الليل عند قيمتها القصوى، وتكون الطاقة الشمسية المتاحة صفراً. وبناء على ذلك فقد ظهرت فكرة تخزين الطاقة الشمسية أثناء النهار وذلك لسببين أساسيين:

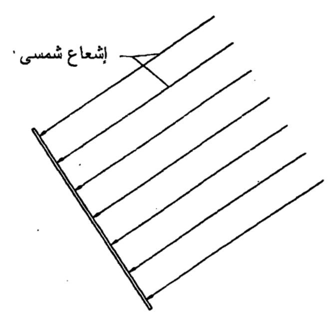


أ- مركز شمسى مقعر الشكل

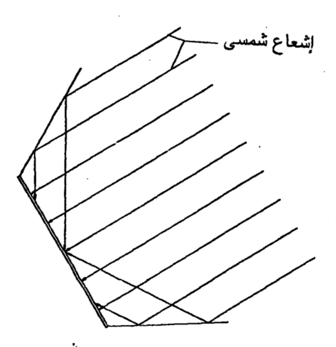


ب- مركز شمسى محدب الشكل

شكل (٩،٤): أنواع المركزات الشمسية

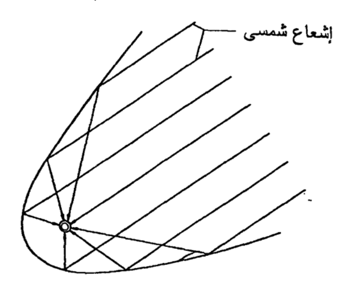


أ- مجمع شمسى منبسط



ب- مجمع شمسى مع استخدام عواكس

شكل (٩،٥): الأنواع الأساسية للمجمعات الشمسية



جـ- مركز شمسى

تابع شكل (٩،٥): الأنواع الأساسية للمجمعات الشمسية

١- توفير الطاقة الحرارية فى الفترات التى يتعذر فيها الحصول عليها مباشرة من الطاقة الشمسية (أثناء الليل ـ تجمع السحب أثناء ساعات النهار).

٢- خفض سعة التذبذبات فى الطاقة الحرارية المستخدمة.

فيتم تخزين الطاقة الحرارية المجمعة بواسطة المجمعات الشمسية عن طريق إمرار الهواء ـ أو المائع ـ المسخن خلال مادة لتخزين الحرارة ثم يتم بعد ذلك استخلاص تلك الطاقة المخزنة مرة أخرى بعد ذلك عن طريق دفع هواء ـ أو مائع ـ بارد خلال المادة المخزنة للحرارة. وقد يكون تخزين الطاقة مباشرة بالسماح للطاقة الشمسية المباشرة بالسقوط على المواد أو حوائط. ويتم استرجاع تلك الطاقة مرة أخرى عن طريق الفقد بالإشعاع من المواد أو الحوائط. ويفضل استخدام المواد ذات الحرارة النوعية الحجمية المرتفعة فى تخزين الطاقة وذلك لتقليل الحيز الذى يجب أن تشغله تلك المواد. ويوضح الجدول رقم (٩،١) بعض المواد التى يمكن استخدامها فى تخزين الطاقة .[١٨]

جدول (٩،١): بعض المواد المستخدمة فى تخزين الطاقة

المادة	الكثافة كجم/متر^{٣}	الحرارة النوعية كيلو جول/ كجم.°م	الحرارة النوعية الحجمية كيلوجول/ متر^{٣}. °م
الماء	١٠٠٠	١,٠١	١٠١٠
الطوب الطفلى	٢١٦٢	,٩٥	٢٠٥٤
الرمل	١٥٢١	٠,٨٤	١٢٧٧
الزلط (١,٩-٧,٦سم)	١٦٠٢	,٨٤	١٣٤٦
الخرسانة	٢٤٠٢	,٨٤	٢٠١٧
ملح جلوبر			
صلب	١٦٠٢	٢,١	٣٣٦٤
سائل	١١٢١	٣,٣٥	٣٧٥٥

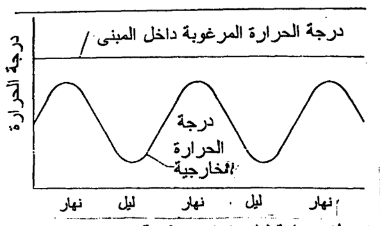
كيفية استغلال التخزين الحرارى:

يمكن استغلال التخزين الحرارى مع المبانى أو المنشآت الزراعية التى تحتاج إلى تدفئة أولية. فليس من المعقول أن يتم تصميم مجمع شمسى وخزان حرارى لتوفير ١٠٠٪ من حمل التدفئة المطلوب وخاصة فى الأجواء شديدة البرودة، نظراً لكبر حجمى المجمع الشمسى والخزان الحرارى المطلوبين فى تلك الحالة وبالتالى يصبح النظام باهظ التكاليف وغير اقتصادى. ولكن فى الغالب يتم التصميم لتوفير درجات حرارة متوسطة.. أما إذا دعت الحاجة إلى حرارة إضافية فإنه يمكن توفيرها باستخدام نظم تدفئة مساعدة مثل الدفايات الكهربائية. ويمكن توضيح ما سبق من خلال الشكل رقم (٩،٦). فيوضح الشكل رقم (٩،٦أ) تغير درجات حرارة الجو الخارجى وتذبذباتها أثناء الليل والنهار، ويوضح كذلك درجة الحرارة المرغوبة أو المطلوبة داخل مبنى والتى فى الغالب ما تكون مستقرة ولا تتغير كثيراً مع الزمن. ونظراً لأن درجة الحرارة المطلوبة داخل المبنى أكبر من درجة

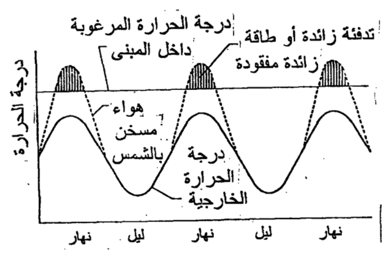
حرارة الجو الخارجى، فإنه لابد من استخدام وسيلة لتدفئة الهواء الخارجى والداخل إلى المبنى.

ويوضح الشكل رقم (٦ب،٩) ما يحدث عند استخدام مجمع شمسى لتدفئة الهواء الخارجى قبل دخوله إلى المبنى. فالمجمع الشمسى يرفع درجة حرارة الهواء الخارجى أثناء النهار إلى معدلات قد تصل حتى إلى أعلى مما هو مطلوب والذى أمكن تمثيله بالمنطقة المظللة. أيضاً لاتزال مشكلة التدفئة أثناء الليل لم تحل حيث أن درجة حرارة الهواء الخارج من المجمع الشمسى تعتمد كلياً على الطاقة الشمسية الساقطة على المجمع.. والأخيرة تتوافر فقط أثناء النهار.

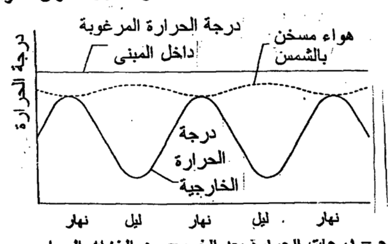
وقد أمكن التغلب على تلك المشكلة إلى حد ما وذلك بإضافة خزان حرارى فى نظام المجمع الشمسى بتخزين الطاقة الحرارية أثناء فترات النهار ثم يتم استرجاعها بواسطة هواء التدفئة أثناء الليل. ويمكن توضيح تأثير استخدام الخزان الحرارى على درجة حرارة الهواء المطلوبة للتدفئة فى الشكل رقم (٦جـ،٩). فقد أمكن تقليل الانخفاضات والإرتفاعات الحادة فى درجة حرارة الهواء الخارج من المجمع الشمسى عن طريق إمراره أولاً على خزان حرارى قبل دخوله إلى المبنى المراد تدفئته. وبالرغم من أنه لازالت هناك الحاجة إلى بعض الطاقة والتى يجب أن تضاف للهواء الخارج من نظام التدفئة حتى نحصل على درجة الحرارة المطلوبة داخل المبنى، والتى يمكن الحصول عليها بالاستعانة بوسيلة تدفئة خارجية مثل الدفايات الكهربائية، إلا أن حمل التدفئة الأساسى قد تمت تلبيته باستخدام نظام تدفئة يحتوى على مجمع شمسى وخزان حرارى.



أ- درجات حرارة ليل - نهار نموذجية لهواء خارجي بارد



ب- درجات الحرارة الخارجة من المجمع وبدون الخزان الحرارى



جـ- درجات الحرارة بعد الخروج من الخزان الحرارى

شكل (٩،٦): توزيع درجات حرارة هواء تهوية تم تدفئته الأولية باستخدام الطاقة الشمسية

ويمكن تقسيم أنظمة التدفئة التى تستخدم الطاقة الشمسية إلى نظامين أساسيين هما:

١- نظم التدفئة السلبية.

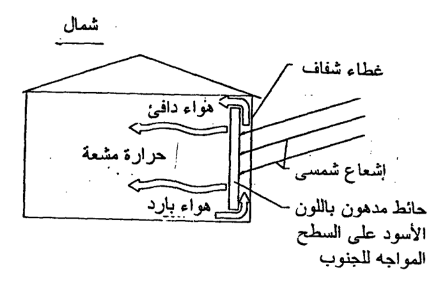
٢- نظم التدفئة الفعالة.

وسوف نتطرق بقليل من التفصيل إلى كيفية عمل كلا من النظامين مع توضيح الفرق بينهما.

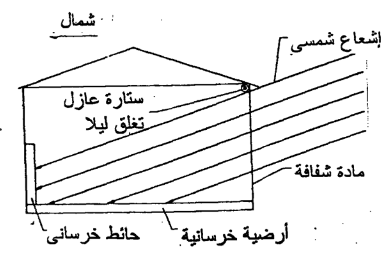
١- نظم التدفئة السلبية:

يعتمد ذلك النظام على نقل الحرارة وتوزيعها بواسطة الفقد الحرارى بأى ـ أو كل ـ من الحمل والتوصيل والإشعاع. وعادة لايستخدم مع هذا النظام لنقل الحرارة مضخات أو قدرة مراوح. ويعتبر استخدام الحائط الشمسى ـ الشكل رقم (٩،٧)[١٨] ـ أحد أمثلة استخدام التدفئة السلبية. ويجب فى ذلك النظام أن يكون محور المبنى الطولى يقع فى الاتجاه شرق ـ غرب بحيث يكون أحد حوائط المبنى الطولية مواجهاً للجهة الجنوبية بحيث يتم تخزين الطاقة الشمسية فى ذلك الحائط.

ولزيادة كمية الطاقة الممتصة يدهن السطح الخارجى للحائط بدهان أسود ويغطى بطبقة من البلاستيك أو الزجاج مع ترك حيز بين الحائط والزجاج يسمح بدوران الهواء. ويتم نقل الحرارة المختزنة فى الحائط بواسطة الحمل الطبيعى وأيضاً بالإشعاع. ويعتبر اكتساب الطاقة مباشرة أيضاً إحدى طرق أنظمة الطاقة السلبية وذلك كما هو موضح بالشكل رقم (٩،٨). فيسمح بالطاقة الشمسية بدخول المبنى من خلال النوافذ أو عند رفع ستائر الحائط الجنوبى. ويتم امتصاص الطاقة الشمسية الداخلة مباشرة بواسطة الأجسام داخل المبنى والتى تعمل على إعادة إشعاعها مرة أخرى أثناء الليل فتحافظ على المبنى دافئا.



شكل (٩،٧): استخدام التدفئة الشمسية السلبية باستخدام الحائط الشمسى



شكل (٩،٨): التدفئة الشمسية السلبية باستخدام الأكتساب المباشر

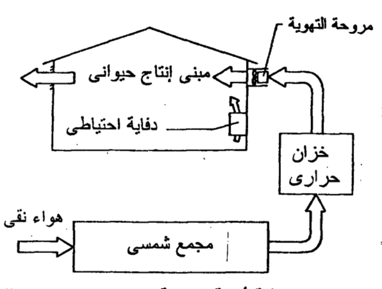
٢- نظم التدفئة الفعالة:

يتم نقل الحرارة فى تلك النظم إلى الخزان الحرارى بواسطة مضخات أو مراوح. وقد يكون التخزين الحرارى بواسطة ماء كما فى الشكل رقم (٩،٩) أو حجارة كما فى الشكل رقم (٩،١٠)[١٨]. وهناك بعض الأنظمة الفعالة يتم فيها إعادة دوران الماء أو الهواء من خلال المجمع الشمسى والبعض الآخر لايحدث فيه ذلك. وفى الغالب لايتم إعادة دوران الهواء مرة أخرى إلى المجمع الشمسى إذا كان ذلك الهواء يخرج من مبنى للإنتاج الحيوانى. ويرجع السبب فى ذلك إلى أن الهواء فى تلك الحالة يكون محملاً بالأتربة والغازات والروائح الكريهة ولا يفضل إعادة إستخدامه مرة أخرى داخل العنبر.

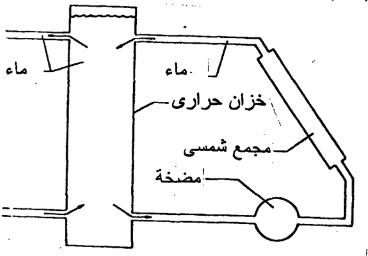
ثانياً: طاقة الرياح

تتولد الرياح أساساً نتيجة لاختلاف درجات حرارة الهواء الجوى بين المناطق المختلفة. فأشعة الشمس لاتسقط بالتساوى على المساحات المختلفة على سطح الأرض. وبالتالى فهناك مناطق دافئة وأخرى باردة. ونظراً لأن الهواء الدافئ تكون كثافته أقل من الهواء البارد، فتبدأ حركة الهواء أو تتولد الرياح نتيجة لارتفاع الهواء فى المناطق الحارة إلى أعلى ويتم إحلاله بهواء بارد من مناطق أخرى. ويوجد على سطح الأرض نظم هوائية متعددة منها ـ على سبيل المثال ـ عملية سحب الهواء البارد من الأقطاب الباردة إلى المناطق الأستوائية ليحل محل الهواء الحار والأخف وزناً.

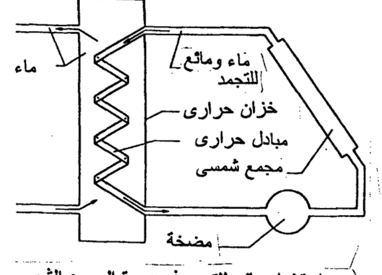
ويعتمد سريان الهواء على فروق الضغوط المتولدة بين تلك المناطق. ويلاحظ أن ٢ فى المائة فقط من الطاقة الشمسية الساقطة على سطح الأرض تصبح قوى للرياح. وبالرغم من صغر تلك النسبة، إلا أنها تعد طاقة أكبر بكثير من الاستخدامات الإنسانية لها على مدار عام.



شكل (٩،٩): نظام تدفئة أولية شمسية بدون إعادة استخدام للهواء



أ- استخدام الماء فى دورة المجمع الشمسى



ب- استخدام مانع للتجمد فى دورة المجمع الشمسى

وفكرة تطويع طاقة الرياح ليست بجديدة. فقد استخدم الإنسان عبر الزمن السفن الشراعية فى نقل البضائع والناس وكذلك طواحين الهواء. وتعتمد الطاقة المتاحة من الرياح على سرعة الرياح. ويلاحظ أن كمية الطاقة المتاحة تتضاعف ٨ مرات فى كل مرة تزداد فيها سرعة الرياح إلى الضعف[٢٤]. فمثلاً تحتوى الرياح التى سرعتها ١٢ ميل /ساعة على طاقة أكبر بنسبة ٧٠٪ من طاقة الرياح المتوفرة عند سرعة رياح مقدارها ١٠ميل/ساعة. ويحتاج فى الوقت الحاضر لتوليد الكهرباء بمعدل اقتصادى إلى سرعة رياح لاتقل عن ١٢ ميل/ساعة، بينما تعتبر سرعة للرياح مقدارها ٨ ميل/ساعة فقط كافية لتشغيل ماكينات ضخ ـ مياه.

ومثلما تمتلك بلدنا شمس عفيه فى جنوب مصر وصعيدها والتى يمكن استخدامها كمصدر من مصادر الطاقة المتجددة، يوجد لدينا أيضا رياح الشمال القوية التى يمكن أيضاً استغلالها. وقد أجريت دراسة نشر تقرير عنها أعدته هيئة الطاقة المتجددة ذكر فيه أن الرياح متوافرة بسرعات قابلة للإستخدام فى مناطق تمتد على ساحل البحر الأحمر بطول ١٥٠ كيلو متراً لتوليد قدرات كهربائية تصل فى مجموعها ـ كما يؤكد تقارير هيئة الطاقة الجديدة ـ إلى ما يزيد على عشرة آلاف ميجاواط، أى ما يعادل ثلاثة أضعاف قدره محطة كهرباء السد العالى.*

وكانت التجارب قد بدأت بإنشاء مزارع الرياح التجريبية على ساحل البحر الأحمر حيث تم إنشاء مزرعة رياح فى منطقة رأس غارب ـ الشكل رقم (١١، ٩) ـ ومزرعة أخرى فى منطقة الغردقة. وقد أثبتت هذه المزارع نجاحاً هائلاً فى توليد الطاقة من الرياح الموجودة فى المنطقة. وقد تم عمل خريطة لتيارات الهواء فوق أرض مصر عن طريق تركيب شبكة قياس فوق

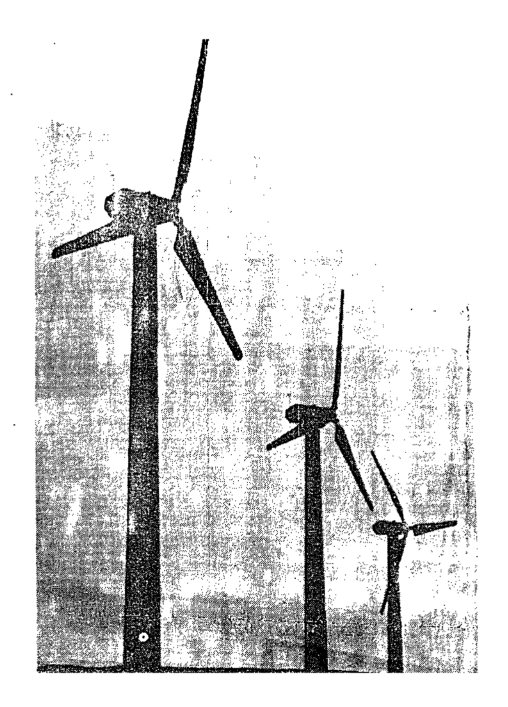
---

* رياض توفيق ـ جريدة الأهرام بتاريخ ١٩٩٢/٨/٢٨

٢٢ موقعاً تنتشر على أرض البلاد. وأكدت خريطة الرياح أن بعض المواقع في مصر تصل فيها سرعة الرياح إلى ١١ مترا في الثانية ـ ٢٤,٦ ميل/ساعة ـ وهو من أعلى المعدلات العالمية المطلوبة لتشغيل توربينات المراوح العملاقة لتوليد الكهرباء. وتعتبر منطقة خليج السويس وامتدادها جنوباً على ساحل البحر الحمر ـ على حسب ما جاء بالدراسة ـ منطقة اولى تصل فيها سرعة الرياح إلى ذروتها ويليها طبقاً لسرعة الرياح منطقة شرق خليج السويس فى سيناء ثم منطقة شرق العوينات ويجئ الساحل الشمالى فى المرتبة التالية لهذه المناطق.

وقد تضمنت تجارب استخدام طاقة الرياح مجالين أساسين هما: النفخ الميكانيكى.. وتوليد الطاقة الكهربائية. وفى مجال ضخ المياه تم تركيب توربينه لضخ المياه بمنطقة شرق العوينات تعمل الآن فى رفع المياه من باطن الأرض. وأمكن من خلالها استصلاح ١٥ ألف فدان. ويجرى تنفيذ وحدات ضخ أخرى فى منطقة النوبارية.

وفى مجال توليد الكهرباء تم تشغيل أول مزرعة رياح تتصل بالشبكات الكهربائية بمدينة رأس غارب. وتتكون المزرعة من ٤ توربينات هوائية بقدرة ١٠٠ كيلو واط لكل منها. ويبلغ إجمالى الطاقة المولدة سنوياً منها حوالى مليون كيلو واط. ساعة. وقد تم أيضاً إنشاء وحدة تحلية مياه البحر فى منطقة الغردقة. وتنتج الوحدة ٣٠ متراً مكعباً من المياه يومياً، وتعمل بواسطة التيار الكهربائى المنتج من توربيات الرياح.. وهى تجربة تفتح باب الأمل أمام القرى السياحية المتناثرة على امتداد ساحل البحر الأحمر. حيث يمكن لمجموعات القرى الأشتراك فى محطة تحلية مياه باستخدام المراوح الهوائية لتوفير المياه العذبة من مياه البحر وايضاً توفير الطاقة الكهربائية لاستهلاك هذه القرى.



شكل(١١،٩): مزرعة رياح رأس غالب ٤ توربينات هوائية بقوة ١٠٠ كيلو واط لكل منها تنتج مليون كيلو واط سنوياً

إن الصورة الآن التى ترسمها وحدات التوربينات التى تعمل بالرياح والتى تم اختبارها تؤكد نجاح التجربة.. وتؤكد ايضا إمكانية تكرارها فى العديد من المواقع فوق خريطة الرياح التى تم إعدادها بالفعل.. وبالذات بعد نجاح مصانعنا فى تصنيع معظم أجزاء هذه الوحدات، وأصبح الأعتماد على المكون الأجنبى محدوداً للغاية.

وقد قامت حالياً هيئة الطاقة المتجددة بعمل أطلس الشمس وأطلس الرياح لتوضيح أنسب الأماكن لإقامة مزارع الرياح ومحطات التوليد الشمسى* . وقد تم حصر الأمكانات المتوافرة لدى مصر لتوفير ٣٠٪ من احتياجات مصر من الطاقة قبل عام ٢٠٠٥م. وقد بدأت مصر فى إقامة محطات توليد كبرى ـ طاقة ٣٠ ألف كيلو واط. وقد بلغت الطاقة المولدة من مزارع الرياح حالياً ٦٣ ألف كيلو واط*. كما أن هناك خطة لإنشاء محطة توليد عملاقة بمنطقة الكريمات بالدورة المركبة لاستغلال الطاقة الشمسية نهاراً والغاز الطبيعى ليلاً بطاقة ١٥٠ ألف كيلو واط.

وتستهدف استراتيجية مصر المستقبلية من استخدام الطاقة المتجددة فى مصر سواء من الطاقة الشمسية أو من طاقة الرياح توفير حوالى ٥٪ من احتياجات البلاد للطاقة الأولية مما يؤدى إلى توفير حوالى ٣ ملايين طن بترول سنوياً تستخدم فى توليد الكهرباء التى سوف نحصل عليها باستخدام الطاقة المتجددة.

والأهم من ذلك كله أن استخدامات الطاقة المتجددة سوف تحمى البيئة من تلوث استخدامات الطاقة التقليدية. وتقول الدراسات أن كل الف كيلو واط

---

* فاروق عبد العزيز ـ أحمد حسين ـ جريدة الجمهورية ٢٠/٩/٢٠٠٠

مولدة من تطبيقات الطاقة المتجددة تنقذ البيئة من ٧٠٠٠ طن أكسيد كربون و ٥٠ طن أكسيد كبريت و ٤٠ طن نتروجين و ٥٠٠ طن أتربة.

ثالثاً: الطاقة الأرضية

تعتبر الطاقة الأرضية أحد مصادر الطاقة المتجددة الرئيسية والتى لا تأتى من ضوء الشمس. وتأتى الطاقة الأرضية مباشرة من المستودع الحرارى العظيم الموجود تحت سطح الأرض. وتتولد الطاقة الأرضية ـ مثلها مثل الطاقة الشمسية ـ من التفاعلات النووية وارتطامات الأجسام مع بعضها البعض نتيجة لانجذابها نحو مركز الأرض وكذلك من تحللات المواد المشعة. وبدون أن نطلق العنان لخيالنا، فإن الطاقة الأرضية اليوم تعادل الطاقة المتولدة من البترول أو حتى الأخشاب. وهناك ما يقرب حالياً من ٢٠ دولة فى العالم لديها مشاريع فاعلة فى استخدامات الطاقة الأرضية. ومع ندرة مصادر الطاقة التقليدية، فإن الطلب على الطاقة الأرضية يتزايد.. فهى عادة أقل تكلفة من الطاقة المتولدة سواء من الفحم أو من المفاعلات النووية.

وتأتى كل الحرارة الأرضية من الصخور المنصهرة القابعة فى الأرض عند أعماق تتراوح تقريباً ٤٠ كيلو متراً من القشرة الأرضية. وبالرغم من أن درجات الحرارة تتزايد فقط بمعدل ٢٥°م مع كل زيادة فى العمق مقدارها واحد كيلو متراً، فإن درجات الحرارة وصلت حتى ٣٦٠°م قد وجدت فى بعض المناطق بالقرب من سطح الأرض فقط وعلى عمق ٢ كيلو متراً والتى يمكن الوصول إليها بسهولة بواسطة تقنية حفر الأبيار الحديثة[٢٥]. ومعظم هذه البقع الساخنة العظيمة الحجم هى عبارة عن منازل للبراكين وفوارات مياه حاره وعيون ساخنة. وتحدث معظم أنشطة الطاقة الأرضية من تصادم القشور الأرضية مع بعضها البعض بما يسمح بظهور الحمم بالقرب من سطح الأرض.

وتعتبر تدفئة المنازل من أكبر تطبيقات الطاقة الأرضية حاليا. ويتم ذلك عن طريق حفر آبار للوصول إلى ماء عند درجات حرارة تتراوح ما بين ٤٠ و ١٠٠°م بحيث يمكن استخدامه بواسطة وسائل من المبادلات الحرارية فى تدفئة المنازل. وتعمل المبادلات الحرارية على حفظ ووقاية المصدر وتقليل البخر وتجنب مشاكل نفايات الماء المفقود. والمبادل الحرارى فى صورته المبسطة عبارة عن أنبوب يسحب الماء الأرضى الحار يتم احاطته من الخارج عند وصوله إلى سطح الأرض بأنبوب آخر يدفع فيه الماء النقى المستخدم فى المنازل. فيتم إنتقال الحرارة فقط من الماء الأرضى الحار إلى ماء المنازل النقى دون أى خلط بين بعضهما البعض. ولزيادة كفاءة تلك العملية ولخفض تكاليفها الاقتصادية فإنه يمكن استخدام تصميمات محددة من المضخات الحرارية. فتعمل الأجهزة الكهربائية على إرسال مائع تبريد ـ فى الغالب مائع الفريون ـ من خلال متوالية من الحجرات التى من خلالها يتم استخلاص الحرارة من الماء الأرضى ونقله إلى وسط آخر وليكن الهواء مثلاً. ويلاحظ أنه لو تم استخدام المضخات الحرارية، فإنه يمكن دفع مائع التبريد إلى ماء أرضى ذو درجات حرارة منخفضة نسبياً أو حتى إلى ماء أرضى عند درجة حرارة طبيعية حيث يعمل مائع التبريد على استخلاص الحرارة من ذلك الماء.

وقد أمكن حديثاً استغلال الطاقة الأرضية بكفاءة فى محطات لتوليد الكهرباء باستخدام ماء أرضى عند درجات حرارة تتراوح ما بين ١٥٠ و ٢٠٠°م[٢٥]. فيتم تدوير الماء الأرضى فى دائرة مغلقة من خلال مبادل حرارى يعمل على نقل الطاقة الأرضية إلى مائع تشغيل آخر ذو درجة غليان منخفضة والموجود فى دائرة أخرى مغلقة. فتعمل الحرارة المنتقلة من الماء الأرضى على تبخير مائع التشغيل والذى بدوره يندفع لتشغيل توربينة تعمل على توليد الكهرباء. كما توجد طريقة أخرى لاستغلال الطاقة الأرضية بكفاءة

عن طريق توظيف نفس المصدر فى توليد الكهرباء وكذلك فى الاستخدامات الحرارية مثل عمليات التدفئة. فيمكن أيضا استغلال الحرارة المصاحبة للمياه المتصرفة من محطات توليد الكهرباء فى التدفئة المنزلية أو العمليات الصناعية.

ويعتبر وجود الشوائب فى المياه الأرضية مشكلة عامة فى العديد من مشاريع استغلال الطاقة الأرضية. فيحدث عند سحب الماء الأرضى الحار من العروق الصخرية أو الأنهار الممتدة تحت سطح الأرض أن يتم أيضا التقاط المواد الضارة مثل الأملاح والسيليكان والتى تؤدى إلى زيادة الرواسب الجيرية والأصداء. فزيادة تراكيز الملاح والمعادن قد يدفع أى من تلك المشاريع إلى الإنتهاء والأغلاق. والأكثر من ذلك أن معظم تلك المواد التى تترسب وتصدأ داخل نظام استغلال الطاقة الأرضية غالبا ما تصبح ملوثاً فى الخارج. ويعتبر كبريتات الهيدروجين ـ وهو من الغازات السامة ـ من نواتج الإستخدام فى مواقع ومحطات إنتاج الطاقة الأرضية. فهو متواجد فى معظم تلك المواقع بدرجة قد تسبب مشاكل حادة للجهاز التنفسى ومنها حدوث شلل للرئتين.

وأخيراً فإن مصادر الطاقة الأرضية عبارة عن بخار وماء حار أو الأثنين معاً. وتلك المصادر تم استغلالها تجارياً. ولكن هناك أيضاً مصادر أخرى مثل الماء المشبع بالميثان والصخور النارية الجافة والمنصهرة والتى لم يتم التوصل إلى كيفية استغلالها تجاريا بعد. وتعتبر الصخور الجافة الحارة من أكثر مصادر الطاقة الأرضية شيوعا، نظراً لعظم توزعها حول العالم. فإذا أمكن دفع ماء من خلال نظام محدد حول تلك الصخور الجافة الحاره واسترجاعه مرة أخرى، فإنه من المتوقع الحصول على كميات هائلة من الطاقة، أما التحدى التقنى الأكبر لكيفية استغلال الطاقة الأرضية فهو كيفية

استغلال الطاقة المتاحة فى الصخور المنصهرة مباشرة. ومع أن ذلك المصدر من الطاقة صعب الوصول إليه، إلا أن البراكين قد تقذف لنا أحياناً إلى السطح أو بالقرب من السطح تلك الصخور المنصهرة عند درجات حرارة تتعدى ١٠٠٠ْم. وبالرغم من الصعوبات الكثيرة التى تقف حائلاً دون استخدام ذلك المصدر المتجدد، إلا أن التقدم التقنى والحاجة الملحة إلى الطاقة قد تساعد فى جعل ذلك المصدر فى القريب العاجل أحد مصادر الطاقة المتجددة التى يمكن الأعتماد عليها.

رابعاً: الطاقة من مساقط المياه

يمكن أعتبار توليد الكهرباء من مساقط المياه أحدمصادر الطاقة المتجددة. فالطاقة الشمسية الساقطة على البحار تعمل على تبخير جزء من تلك المياه. يتجمع البخار ويكون سحب متكثفة نتيجة لانخفاض درجات حرارة الهواء فى طبقات الجو. يبدأ سقوط الأمطار بعد ذلك من السحب المتكثفة والمدفوعة بواسطة الرياح مكونة الأنهار. فإذا امكن تركيب سدود على تلك الأنهار.. فإن المياه خلف تلك السدود تتجمع عند مستويات أعلى من مستوى المياه بعد السدود. ويمكن فى تلك الحالة تركيب توربينات لتوليد الكهرباء عند الخزانات تدور بالطاقة المصاحبة لسقوط المياه. ومع إكتمال الدورة بوصول مياه الأنهار مرة أخرى إلى البحار.. تصبح تلك الطاقة متجددة ومستغلة إلى مالا نهاية.

وتقدر الطاقة الكهربائية المتولدة من مساقط المياه بحوالى $\frac{١}{٤}$ الطاقة الكهربائية المتولدة فى العالم[٢٥]. ويتطلب توليد الكهرباء من مساقط المياه بناء سدود ضخمة مكلفة أعلى الأنهار. وقد تمر تلك الأنهار فى دول فقيرة مثل دول العالم الثالث فتصبح مشكلة الدعم المادى عائقاً أمام طموحات تلك الدول فى استغلال تلك الطاقة فى التنمية. فعلى سبيل المثال، قدرت أوزان الأحجار التى استخدمت فى بناء السد العالى عند أسوان بحوالى ١٧

مرة أوزان الأحجار التى استخدمت فى بناء الهرم الأكبر بالجيزة. وكما تم ذكره، ففى عام ١٩٨٠ قدرت الطاقة الكهربائية المتولدة فى العالم والتى تأتى من مساقط المياه فقط بحوالى ٢٥٪.. وهى أيضاً تمثل حوالى ٥٪ من الطاقة الكلية المستغلة فى العالم. فقد بلغ الإنتاج السنوى فى ذلك الوقت حوالى ١٧٢٠ مليار كيلو واط ـ ساعة والتى أمكن توليدها من سدود على الأنهار سعتها الكلية ٤٥٨٠٠٠ ميجا واط. ويلاحظ أن هناك طاقة مصاحبة لسريان المياه فى الأنهار إذا امكن استغلالها. ويقدر إنتاج تلك الطاقة بحوالى ٧٣ تريليون كيلو واط ـ ساعة سنوياً. ولكن لأسباب تقنية فإن مقدار الطاقة الفعلية التى يمكن استغلالها سنوياً من المحتمل أن لاتزيد عن ١٩ تريليون كيلو وات ـ ساعة[٢٥]. وعلى ذلك فهناك فرق بين ما هو متاح وبين ما أمكن استغلاله. ويوضح جدول رقم (٢ ، ٩) الطاقة الكهربائية التى أمكن استغلالها من مساقط المياه المختلفة من العالم ونسبة تلك الطاقة لما هو متوافر أصلاً فى كل منطقة من تلك المناطق.

جدول (٢ ، ٩) الطاقة المستغلة فعلياً من مساقط المياه ونسبتها من الطاقة المائية الكلية المتاحة.

المنطقة	الطاقة المستغلة (ميجا واط)	نسبة الطاقة المستغلة ٪
آسيا	٦١٠,١٠٠	٩
أمريكا الجنوبية	٤٣١,٩٠٠	٨
أفريقيا	٣٥٨,٣٠٠	٥
أمريكا الشمالية	٣٥٦,٤٠٠	٣٦
الإتحاد السوفيتى	٢٥٠,٠٠٠	١٢
أوروبا	١٦٣,٠٠٠	٥٩
العالم	٢,٢٠٠,٠٠٠	١٧

المصدر: مؤتمر الطاقة العالمى ـ إحصائية عن مصادر الطاقة ـ ١٩٨٠

خامساً: الوقود المتنامي: الطاقة من المخلفات الحقلية (الكتلة الحية)

تعتبر عملية استخلاص الوقود من المخلفات أحد مصادر الطاقة المتجددة. فهناك المئات من أنواع النباتات المختلفة ـ بغض النظر عن الأخشاب ـ التى يمكن تحويلها إلى أشكال عديدة من صور الطاقة باستخدام نوعية محددة من التقنيات. كما ان هناك بعض مصادر طاقة الكتلة التى تعتبر قديمة قدم الأزل. كما أن كل مصادر الكتل الحية تشبه بعضها البعض. فلا توجد الحاجة مثلاً إلى أنظمة مكلفة مثل الأنظمة المستخدمة فى تجميع وتخزين الطاقة الشمسية أو إقامة السدود عبر النهار لتوليد الكهرباء من مساقط المياه أو حتى حفر الآبار العميقة للوصول إلى البخار أو الماء الأرضى الحار. فيمكن باستخدام بعض التقنيات تحويل تلك المخلفات الحقلية إلى وقود فى حالاته الثلاثة الغازية والسائلة والصلبة[٢٥].

وتعتبر طاقة الكتلة الحية من الطاقات الواعدة اليوم والواسعة الإستخدام والتى من المتوقع أن تكون أكثر استخداماً فى المستقبل. ولكن لازال حتى الآن غير معلوم ومحدد كمية الطاقة التى يمكن تطويعها اقتصادياً وبطريقة آمنة. ويمكن تحديد تلك الكمية فقط عن طريق إجراء المزيد من الأبحاث لمصادر الأرض المختلفة من الكتل الحية. ويعتبر الخشب ومخلفات المحاصيل وروث البهائم من أهم مصادر تلك الطاقة. وكل الطاقات الموجودة فى النباتات تأتى أساساً من الشمس. فمن خلال عملية البناء الضوئى تستطيع النباتات تحويل ٢٪ من الطاقة الضوئية الساقطة عليها إلى طاقة كيميائية. وقدر كمية الطاقة التى تمتصها وتخزنها النباتات ـ الموجودة فى مساحة تقدر بحوالى ١٪ من مساحة الأرض اليابسة بحوالى ٥٣٠ أكساجول من الطاقة (الأكسا جول عبارة عن وحدة عظمى للطاقة تقدر بحوالى الطاقة الموجودة فى ٣٤ مليون من الأطنان المترية من الفحم أو ١٦٣ مليون برميل من

البترول). وهذه الكمية من الطاقة التى تمتصها النباتات تعادل أكثر من ٥٠ فى المائة من استخدام العالم للطاقة.[٢٥]

ومع اشتعال أزمة البترول فى السبعينات، بدأ العالم فى البحث عن مصادر جديدة لوقود النقل السائل الذى كان يستخدم فى تشغيل أكثر من ٤٠٠ مليون عربة وناقلة شحن وجرار على مستوى العالم فى ذلك الوقت. وقد بدأت عدة حكومات فى ذلك الوقت فى إنتاج الإيثانول من الذرة والمحاصيل السكرية. وتعتبر تكلفة تلك المحاصيل هى التكاليف الأساسية فى إنتاج الإيثانول. ويتم خلط الإيثانول مع زيت البترول المكرر أو البنزين لرفع نسبة الأوكتين. وقد حددت العديد من الأبحاث أيضاً أنواع من الزيوت النباتية التى يمكن أن تحل مباشرة محل وقود الديزل. فهناك أنواع من الخضروات وزيوت النخيل تعتبر جاهزة للأستخدام بدون اى عملية تقطير مكثفة للطاقة. فقد نجحت المحاولات فى تشغيل محركات الديزل باستخدام زيوت بذور تباع الشمس. وقد قدر أن روث البهائم والمخلفات الحقلية على مستوى العالم يمكن أن تمد العالم من الطاقة بما يعادل الطاقة المتوافرة فى ٢٥٧ مليون طن مترى من الفحم - أى حوالى ٢ فى المائة من استخدام العالم للطاقة[٢٥].

وعملية توليد البيوجاز من المخلفات العضوية تتم فى حفرة مبطنة بالطوب أو خزان من الحديد. ويجب أن تكون الحفرة أو الخزان محكم الغلق وبمعزل عن الهواء. ويتم وضع المخلفات داخل الخزان أو المخمر مع إحكام غلقه حتى تتم عملية التخمر بمعزل عن الأكسجين فيتولد غاز الميثان والذى يستخدم فى عمليات الطهى والتدفئة وتوليد الكهرباء. كما تعتبر بقايا الخزان من عملية التخمر أيضاً مواد خصبة تستخدم فى تسميد التربة. أى أن مخمرات أو مولدات البيوجاز لاتولد فقط الطاقة.. بل تولد أيضاً أسمدة. ويكفى القول أنّ هناك مخمرات تولد كمية من الطاقة تعادل الكمية المنتجة من محطة توليد كهرباء سعتها ٢٥٠ ميجا وات، بينما من الناحية الأخرى مصنع

لإنتاج الأسمدة العضوية باستخدام طاقة الفحم يستهلك كمية من الوقود تكفى لتشغيل محطة سعتها ٣٥ ميجا وات.

والجدير بالذكر أن نفايات أو مخلفات المدن البيولوجية تحتوى أيضاً على كميات لابأس بها من الطاقة. ففى الحقيقة أن واحد طن من النفايات تحتوى على طاقة تعادل الطاقة المتولدة من حوالى ٢٣٠ كيلو جرام فحم. ويوضح جدول (٩،٣) كمية الطاقة غير المستغلة والمتواجدة فى النفايات فى العديد من بلدان العالم.

جدول (٩،٣): الطاقة المتولدة فى مخلفات الحضر من النفايات

المنطقة	مخلفات الحضر (نفايات) (مليون طن/ساعة)	الطاقة المتاحة (أكسا جول)
الولايات المتحدة	١٦٠	١,٩
أوربا الغربية	١٣٠	١,٣
الإتحاد السوفيتى وأوربا الشرقية	٩٠	٠,٥
اليابان	٧٠	,٣
الدول النامية	١٠٠	١,١

المصدر: تقديرات معهد المراقبة العالمية والمعتمد على مصادر الأمم المتحدة - ١٩٨٠

وفى الحقيقة أن التخلص من مخلفات المدن البيولوجية أصبحت مشكلة مزمنة تعانى منها معظم دول العالم. فيتم التخلص من تلك النفايات إما بالدفن تحت الأرض أو الحرق أو إلقائها فى البحار. وتلك الطرق للتخلص من النفايات تسبب مشاكل بيئية حادة سواء فى الهواء أو الماء. فلابد من الاهتمام بالنفايات عن طريق تشجيع المشاريع الخاصة بتدوير النفايات أو تقليلها أو إعادة إستخدامها.



الملاحق

الملاحق

ملحق (أ)

التحويلات فى النظام العالمى[١٤]

الوحدات فى النظام العالمى (SI Units)

الوحدات الأساسية:

الاسم	الرمز	الكمية
المتر	m	الطول
الكيلو جرام	kg	كتلة
الثانية	s	زمن
الكيلفن	K	درجة الحرارة المطلقة

الوحدات المشتقة:

تعتبر كل الوحدات الأخرى مشتقات من الوحدات الأساسية وملحقاتها. وتحتوى بعض هذه الوحدات المشتقة على تسميات خاصة.

المضروبات العشرية للوحدات:

يوصى باستخدام البادئات التالية مع وحدات النظام العالمى

تيرا	$T\ 10^{12}$	كيلو	$k\ 10^{3}$	نانو	$N\ 10^{-9}$
جيجا	$G\ 10^{9}$	مللى	$m\ 10^{-3}$	بيكو	$P\ 10^{-12}$
ميجا	$M\ 10^{6}$	ميكرو	$\mu\ 10^{-6}$	فيمتو	$f\ 10^{-15}$

أما استخدام البادئات التالية فيجب أن يكون محدود:

هيكتو	$h\ 10^{2}$	ديسى	$d\ 10^{-1}$
ديكا	$da\ 10$	سم	$c\ 10^{-2}$

بعض التحويلات للوحدات

الطول ، متر - السرعة، متر / ث

١ قدم = ٠,٣٠٤٨ متر

١ بوصه = ٢٥,٤ مم

١ ميل = ١,٦٠٩كم

١ قدم/ دقيقة = ٠,٠٠٥٠٨ متر/ثانية

١ ميل/ ساعة = ٠,٤٤٧ متر/ثانية

١ كيلو متر/ساعة = ٠,٢٧٧٧٨ متر/ث

المساحة، متر^{٢}

١ قدم^{٢} = ٠,٠٩٢٩٠٣٠٤ متر^{٢}

١ بوصة^{٢} = ٠,٠٠٠٦٤٥١٦ متر^{٢}

١ ميل مربع = ٢,٥٩٠ كيلو متر مربع

الحجم متر^{٣}، متر^{٣}/كجم ، متر^{٣}/ثانية

(ملحوظة: ١ لتر = ١٠$^{-٣}$ متر^{٣})

١ قدم^{٣} = ٢٨,٣٢ لتر

١ جالون إنجليزى = ٤,٥٤٦ لتر

١ جالون أمريكى = ٣,٧٨٥ لتر

١ قدم^{٣}/ رطل = ٠,٠٦٢٤٣ متر^{٣}/كجم

١ قدم^{٣}/ دقيقة = ٠,٤٧١٩ لتر/ث

١ جالون انجليزى/ دقيقة = ٠,٠٧٥٧٧ لتر/ث

١ جالون امريكى/ دقيقة = ٠,٠٦٣٠١ لتر/ث

١ قدم مكعب/ دقيقة. قدم^{٢} = ٥,٠٨٠ لتر/ث.متر^{٢}

القوة نيوتن ≡ كجم.متر/ ث^{٢} ، نيوتن/ متر

باسكال ≡ نيوتن/ متر^{٢}

١ قوة رطل = ٤,٤٤٨ نيوتن

١ قوة رطل/ قدم = ١٤,٥٩ نيوتن/ متر

١ داين/سم = ١(مللى نيوتن)/ متر

١ مم ماء = ٩,٨٠٦٦٥ باسكال

١ بار = ١٥° باسكال

١ رطل/ بوصة^{٢} = ٦,٨٩٤ كيلو باسكال

١ بوصة ماء = ٢٤٩,١ باسكال

١ مم زئبق = ١٣٣,٣ باسكال

١ ضغط جوى = ١٠١,٣٢٥ كيلو باسكال

الطاقة جول ≡ نيوتن. متر = واط. ث، جول/كجم، جول/ كجم.°م

١ كيلو واط. ساعة = ٣,٦ ميجا جول

١ وحدة حرارة إنجليزية = ١,٠٥٥ كيلوجول

١ كيلو كالورى = ٤,١٨٦٨ كيلو جول.

١ وحدة حرارة انجليزية/ رطل = ٢,٣٢٦ كيلو جول/ كجم

١ وحدة حرارة انجليزية/ رطل. °ف = ٤,١٨٦٨ كيلو جول/ كجم. °م

١ وحدة حرارة انجليزية/ قدم^{٢} = ٠,٠١١٣٦ ميجا جول/ متر^{٢}

١ كالورى/ سم^{٢} = ٠,٠٤١٨٧ ميجا جول/ متر^{٢}

القدرة واط ≡ جول/ث = نيوتن. متر/ث، واط/ متر^{٢}.°م ، واط/ متر.°م

١ وحدة حرارة انجليزية/ساعة = ٠,٢٩٣١ واط

١ كيلو كالورى / ساعة = ١,١٦٣ واط

١ حصان = ٠,٧٤٥٧ كيلو واط

١ طن تبريدى = ٣,٥١٧ كيلو واط

١ واط/ قدم^{٢} = ١٠,٧٦ واط/ متر^{٢}

١ و . ح. أ/ ساعة. قدم^{٢}. ْف = ٥,٦٧٨ واط/ متر^{٢}. ْم

١ و. ح. أ./ ساعة قدم. ْف = ١,٧٣١ واط/ متر. ْم

١ و. ح. أ./ ساعة. قدم^{٢} = ٠,١٤٤٣ واط/ متر. ْم

١ و. ح. أ./ قدم^{٢}. ساعة = ٣,١٥٥ واط/ متر^{٢}

اللزوجة باسكال. ث = نيوتن. ث/ متر^{٢} = كجم/ متر.ث

١ سنتيبواز = ١٠$^{-٣}$ باسكال.ث

١ قوة رطل. ساعة/ قدم^{٢} = ٠,١٧٢٤ ميجا باسكال.ث

الكتلة كجم، كجم/ متر^{٣}، كجم/ ث، كجم/ث. متر^{٢}

١ رطل = ٠,٤٥٣٥٩٢٣٧ كجم

١ أونز = ٢٨,٣٥ جرام

١ رطل/ قدم^{٣} = ١٦,٠٢ كجم/ متر^{٣}

١ رطل/ ساعة = ٠,٠٠٠١٢٥٦ كجم/ث

١ رطل/ ساعة. قدم^{٢} = ٠,٠٠١٣٥٦ كجم/ث.متر^{٢}

الإنتشارية متر^{٢}/ث

١ سنتيستاك = ١٠$^{-٦}$ متر^{٢}/ث

١ قدم^{٢}/ساعة = ٢٥,٨١ × ١٠$^{-٦}$ متر^{٢}/ث

ملحق (ب)

جدول (١ ، ب): بعض التحويلات المفيدة[٢٦]

الكمية الطبيعية	الرمز	النظام العالمى إلى الإنجليزى	النظام الإنجليزى إلى العالمى
الطول	L	$1\,m = 3.2808\ ft$	$1\ ft = 0.3048\ m$
المساحة	A	$1\ m^2 = 10.7639\ ft^2$	$1\ ft^2 = 0.092903\ m^2$
الحجم	V	$1\ m^3 = 35.3134\ ft^3$	$1\ ft^3 = 0.028317\ m^3$
السرعة	ν	$1\ m/s = 3.2808\ ft/s$	$1\ ft/s = 0.3048\ m/s$
الكثافة	ρ	$1\ kg/m^3 = 0.06243\ 1b_m/ft^3$	$1\,1b_m/ft^3 = 16.018\,kg/m^3$
القوة	F	$1N = 0.2248\,1b_f$	$1\,1b_f = 4.4482\,N$
الكتلة	m	$1\,kg = 2.20462\,1b_m$	$1\,lb_m = 0.4535923\,kg$
الضغط	P	$1\,N/m^2 = 1.45038 \times 10^{-4}\ \frac{lb_f}{in^2}$	$1\,lb_f/in^2 = 6894.76\,N/m^2$
الطاقة، حرارة	q	$1\,kJ = 0.94783\,BTU$	$1\,BTU = 1.05504\,kJ$
السريان الحرارى	q	$1\,W = 3.4121\,BTU/h.$	$1\,BTU/h = 0.29307\,W$
التدفق الحرارى لوحدة المساحات	q/A	$1\,W/m^2 = 0.317\,BTU/h.ft^2$	$1\,BTU/h.ft^2 = 3.154\,W/m$
التدفق الحرارى لوحدة الطوال	q/L	$1\,W/m = 1.0403\,BTU/h.ft$	$1\,BTU/h.ft = 0.9613\,W/m$
الحرارة المتولدة لوحدة الحجوم	$\dot{q}$	$1\,W/m^3 = 0.096623\,\frac{BTU}{h.ft^3}$	$1\ \frac{BTU}{h.ft^3} = 10.35\,W/m^3$
الطاقة لوحدة الكتلة	q/m	$1\,kJ/kg = 0.4299\,\frac{BTU}{lb_m}$	$1\ \frac{BTU}{lb_m} = 2.326\,kJ/kg$

الحرارة النوعية	c	$1\frac{kJ}{kg.^{\circ}c}=0.23884\frac{BTU}{lb_m{}^{\circ}F}$	$1\frac{BTU}{lb_m{}^{\circ}F}=4.1869\frac{kJ}{kg.^{\circ}c}$
التوصيل الحرارى	k	$1\frac{W}{m.^{\circ}c}=0.5778\frac{BTU}{h.ft.^{\circ}F}$	$1\frac{BTU}{h.ft.^{\circ}F}=1.7307\frac{W}{m.^{\circ}c}$
معامل النقل الحرارى	h	$1\frac{W}{m^2.^{\circ}c}=0.1761\frac{BTU}{h.ft^2.^{\circ}F}$	$1\frac{BTU}{h.ft^2.^{\circ}F}=5.6782\frac{W}{m^2.^{\circ}c}$
اللزوجة الديناميكية	μ	$1kg/m.s=0.672\,lb_m/ft.s$ $=2419.2\,lb_m/ft.h$	$1\,lb_m/ft.s=1.4881\frac{kg}{m..s}$
الانتشارية الحرارية	α	$1m^2/s=10.7639\ ft^2/s$	$1\ ft^2/s=0.092903\,m^2/s$

ملحق (جـ)

بعض الخواص الحرارية للهواء والغازات

جدول (١،جـ): قيم لخواص الهواء عند الضغط الجوى [٢٦]

درجة الحرارة، T °K	الكثافة ρ kg/m^3	الحرارة النوعية Cp kJ/kg. °c	اللزوجة μ kg/m.s x 10^5	التوصيل الحرارى k W/m°c	الانتشار الحرارى α $m^2/s \times 10^4$
١٠٠	٣,٦٠	١,٠٣	٠,٦٩	٠,٠١	٠,٠٣
١٥٠	٢,٣٧	١,٠١	١,٠٣	٠,٠٣	٠,٠٦
٢٠٠	١,٧٨	١,٠١	١,٣٣	٠,٠٢	٠,١٠
٢٥٠	١,٤١	١,٠١	١,٤٩	٠,٠٢	٠,١٣
٣٠٠	١,١٨	١,٠١	١,٩٨	٠,٠٣	٠,٢٢
٣٥٠	١,٠٠	١,٠١	٢,٠٨	٠,٠٣	٠,٣٠
٤٠٠	٠,٨٨	١,٠١	٢,٢٩	٠,٠٣	٠,٣٨
٤٥٠	٠,٧٨	١,٠٢	٢,٤٨	٠,٠٤	٠,٤٢
٥٠٠	٠,٧٠	١,٠٣	٢,٦٧	٠,٠٤	٠,٥٦
٥٥٠	٠,٦٤	١,٠٤	٢,٨٥	٠,٠٤	٠,٦٥
٦٠٠	٠,٥٩	١,٠٦	٣,٠٢	٠,٠٥	٠,٧٥
٧٠٠	٠,٥٠	١,٠٨	٣,٣٣	٠,٠٥	٠,٧٧
٨٠٠	٠,٤٤	١,١٠	٣,٦٣	٠,٠٦	١,٢٠
١٠٠٠	٠,٣٥	١,١٤	٤,١٥	٠,٠٧	١,٦٨
١٥٠٠	٠,٢٤	١,٢٣	٥,٤٠	٠,١٠	٣,٢٦
٢٠٠٠	٠,١٨	١,٣٤	٦,٥٠	٠,١٢	٥,٢٦

لا تعتمد القيم السابقة على الضغط الجوى وبالتالى يمكن استخدامها فى مدى معقول من الضغوط

جدول (٢،جـ): قيم لخواص بعض الغازات عند الضغط الجوى[٢٦].

درجة الحرارة، T °K	الكثافة ρ kg/m^3	الحرارة النوعية Cp kJ/kg. °c	اللزوجة μ kg/m.s	التوصيل الحرارى k W/m°c	الانتشار الحرارى α m^2/s
ثانى أكسيد الكربون					
٢٢٠	٢,٤٧	٠,٧٨	١١,١١ × ١٠$^{-٦}$	٠,٠١٠٨	٠,٠٥٩٢ × ١٠$^{-٤}$
٢٥٠	٢,١٧	٠,٨٠	١٢,٥٩	٠,٠١٢٩	٠,٠٧٤
٣٠٠	١,٧٩	٠,٨٧	١٤,٩٦	٠,٠١٦٦	٠,١٠٥٨٨
٣٥٠	١,٥٤	٠,٩٠	١٧,٢١	٠,٠٢٠٤	٠,١٤٨
٤٠٠	١,٣٤	٠,٩٤	١٩,٣٢	٠,٠٢٤٦	٠,١٩٤٦
٤٥٠	١,١٩	٠,٩٨	٢١,٣٤	٠,٠٢٨٩	٠,٢٤٨١
٥٠٠	١,٠٧	١,٠١	٢٣,٢٦	٠,٠٣٣٥	٠,٣٠٨٤
٥٥٠	١,٩٧	١,٠٥	٢٥,٠٨	٠,٠٣٨٢	٠,٣٧٥
٦٠٠	٥,٨٩	١,٠٨	٢٦,٨٣	٠,٠٤٣١	٠,٤٤٨٣
الأكسجين					
١٥٠	٢,٦١٩	٠,٩١٨	١١,٤٩ × ١٠$^{-٦}$	٠,٠١٣٦	٠,٠٥٦٩ × ١٠$^{-٤}$
٢٠٠	١,٩٥٦	٠,٩١٣	١٤,٨٥	٠,٠١٨٢	٠,١٠٢١
٢٥٠	١,٥٦٢	٠,٩١٦	١٧,٨٧	٠,٠٢٢٦	٠,١٥٧٩
٣٠٠	١,٣٠١	٠,٩٢٠	٢٠,٦٣	٠,٠٢٦٨	٠,٢٢٣٥
٣٥٠	١,١١٣	٠,٩٢٩	٢٣,١٦	٠,٠٣٠٧	٠,٢٩٧
٤٠٠	٠,٩٧٦	٠,٩٤٢	٢٥,٥٤	٠,٠٣٤٦	٠,٣٧٦٨
٤٥٠	٠,٨٦٨	٠,٩٥٧	٢٧,٧٧	٠,٠٣٨٣	٠,٤٦٠٩
٥٠٠	٠,٧٠٩	٠,٩٨٨	٢٩,٩١	٠,٠٤١٧	٠,٥٥٠٢
٥٥٠					

نيتروجين

٢٠٠	١,٧١٠٨	١,٠٤٢	$١٢,٩٤٧ \times ١٠^{-٦}$	٠,٠١٨٢	١٠٢٢×١٠^{-٤}
٣٠٠	١,١٤٢١	١,٠٤١	١٧,٨٤	٠,٠٢٦٢	٠,٢٢٠٤
٤٠٠	٠,٨٥٣٨	١,٠٤٦	٢١,٩٨	٠,٠٣٣٥	٠,٣٧٣٤
٥٠٠	٠,٦٨٢٤	١,٥٥	٢٥,٧٠	٠,٠٣٩٨	٠,٥٥٣
٦٠٠	٠,٥٦٨٧	١,٠٧٥	٢٩,١١	٠,٠٤٥٨	٠,٧٤٨٦
٧٠٠	٠,٤٩٣٤	١,٠٩٦	٣٢,١٣	٠,٠٥١٢	٠,٩٤٦٦
٨٠٠	٠,٤٢٧٧	١,١٢٢	٣٤,٨٤	٠,٠٦٠٧	١,١٦٨٥
٩٠٠	٠,٣٧٩٦	١,١٤٦	٤٠,٠٠	٠,٠٦٤٧	١,٣٩٤٦
١٠٠٠	٠,٣٤١٢	١,١٦٧	٤٢,٢٨	٠,٠٦٨٥	١,٦٢٥

هيدروجين

١٥٠	٠,١٦٣٧	١٢,٦	$٥,٥٩ \times ١٠^{-٦}$	٠,٠٩٨	$٠,٤٧٥ \times ١٠^{-٤}$
٢٠٠	٠,١٢٢٧	١٣,٥	٦,٨١	٠,١٢٨	٠,٧٧٢
٢٥٠	٠,٠٩٨١	١٤,١	٧,٩١	٠,١٥٦	١,١٣
٣٠٠	٠,٠٨١٨	١٤,٣	٨,٩٦	٠,١٨٢	١,٥٥٤
٣٥٠	٠,٠٦١	١٤,٤	٩,٩٥	٠,٢٠٦	٢,٠٣١
٤٠٠	٠,٠٥٤٦	١٤,٥	١٠,٨٦	٠,٢٢٨	٢,٥٦٨
٤٥٠	٠,٠٤٤٦	١٤,٥	١١,٧٧	٠,٢٥١	٣,١٦٤
٥٠٠	٠,٠٤٩١	١٤,٥	١٢,٦٤	٠,٢٧٢	٣,٨١٧

هيليوم

١٤٤	٠,٣٣٧٩	٥,٢	$١٢٥,٥\times١٠^{-٧}$	١,٠٩٢	$٠,٥٢٧\times١٠^{-٤}$
٢٠٠	٠,٢٤٣٥	٥,٢	٦٤,٣٨	٠,١١٨	٠,٩٢٩
٢٥٥	٠,١٩٠٦	٥,٢	٩٥,٥	٠,١٣٦	١,٣٦٨
٣٦٦	٠,١٣٢٨	٥,٢	١٧٣,٦	٠,١٦٩	٢,٤٤٩
٤٧٧	٠,١٠٢	٥,٢	٢٦٩,٣	٠,١٩٧	٣,٧١٦
٥٨٩	٠,٠٨٢٨	٥,٢	٣٧٥,٨	٠,٢٢٥	٥,٢١٥
٧٠٠	٠,٠٧٠٣	٥,٢	٤٩٤,٢	٠,٢٥١	٦,٦٦١

الأمونيا NH_3

٢٧٣	٠,٧٩٣	٢,١٧٧	$٩,٣٥٣\times١٠^{-٦}$	٠,٠٢٢	$٠,١٣٠٨\times١٠^{-٤}$
٣٢٣	٠,٦٤٩	٢,١٧٧	١١,٠٣٥	٠,٠٢٧	٠,٠١٩٢
٣٧٣	٠,٥٥٩	٢,٢٣٦	١٢,٨٨٦	٠,٠٣٣	٠,٢٦٢
٤٢٣	٠,٤٩٣	٢,٣١٥	١٤,٦٧٢	٠,٠٣٩	٠,٣٤٣
٤٧٣	٠,٤٤١	٢,٣٩٥	١٦,٤٩	٠,٠٤٧	٠,٤٤٢

بخار الماء

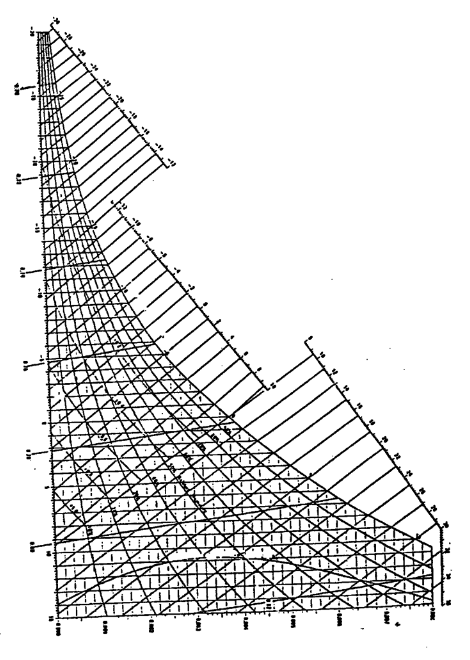
٣٨٠	٠,٥٨٦	٢,٠٦	$١٢,٧١\times١٠^{-٦}$	٠,٠٢٤٦	$٠,٢٠٣٦\times١٠^{-٤}$
٤٠٠	٠,٥٥٤	٢,٠١٤	١٣,٤٤	٠,٠٢٦	,٠٢٣٣٨
٤٥٠	٠,٤٩٠	١,٩٨	١٥,٢٥	٠,٠٢٩٩	٠,٣٠٧
٥٠٠	٠,٤٤٠٥	١,٩٨٥	١٧,٠٤	٠,٠٣٣٩	٠,٣٨٧
٥٥٠	٠,٤٤٠٥	١,٩٩٧	١٨,٨٤	٠,٠٣٧٩	٠,٤٧٥
٦٠٠	٠,٣٦٥٢	٢,٠٢٦	٢٠,٦٧	٠,٠٤٢٢	,٥٧٣
٦٥٠	٠,٣٣٨٠	٢,٠٥٦	٢٢,٤٧	٠,٠٤٦٤	٠,٦٦٦
٧٠٠	٠,٣١٤٠	٢,٠٥٦	٢٤,٢٦	٠,٠٥٠٥	٠,٧٧٢
٨٠٠	٠,٢٧٣٩	٢,١٥٢	٢٧,٨٦	٠,٠٥٩٢	١,٠٠١

جدول (٣،جـ): خواص الماء (مائع مشبع)[٢٦].

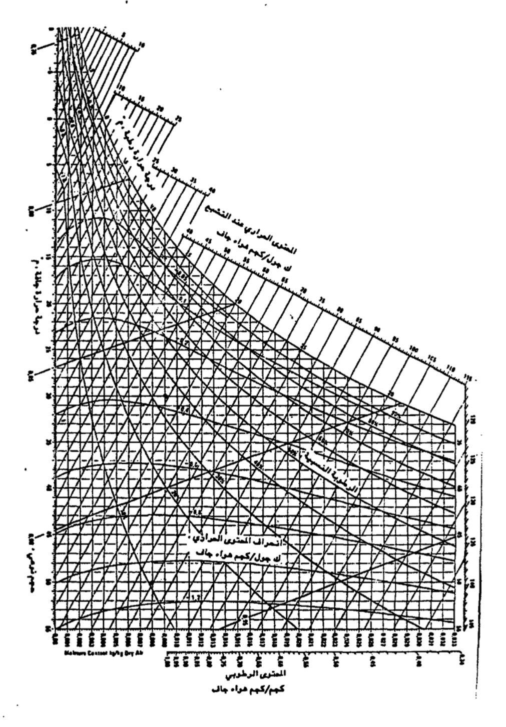
درجة الحرارة °م	الحرارة النوعية كيلوجول/كجم.°م	الكثافة كجم/متر^{٣}	اللزوجة كجم/متر.ث	التوصيل الحرارى	رقم براندل
صفر	٤,٢٢٥	٩٩٩,٨	$١,٧٩ \times ١٠^{-٣}$	٠,٥٦٦	١٣,٢٥
٤,٤٤	٤,٢٠٨	٩٩٩,٨	١,٥٥	٠,٥٧٥	١١,٣٥
١٠	٤,١٩٥	٩٩٩,٢	١,٣١	٠,٥٨٥	٩,٤
١٥,٥٦	٤,١٨٦	٩٩٨,٦	١,١٢	٠,٥٩٥	٧,٨٨
٢١,١١	٤,١٧٩	٩٩٧,٤	$٩,٨ \times ١٠^{-٤}$	٠,٦٠٤	٦,٧٨
٢٦,٦٧	٤,١٧٩	٩٩٥,٨	٨,٦	٠,٦١٤	٥,٨٥
٣٢,٢٢	٤,١٧٤	٩٩٤,٩	٧,٦٥	٠,٦٢٣	٥,١٢
٣٧,٧٨	٤,١٧٤	٩٩٣	٧,٨٢	٠,٦٣٠	٤,٥٣
٤٣,٣٣	٤,١٧٤	٩٩٠,٦	٦,١٦	٠,٦٣٧	٤,٠٤
٥٤,٤٤	٤,١٧٩	٩٨٨,٨	٥,٦٢	٠,٦٤٤	٣,٦٤
٦٠	٤,١٧٩	٩٨٥,٧	٥,١٣	٠,٦٤٩	٣,٣
٦٥,٥٥	٤,١٨٣	٩٨٠,٣	٤,٧١	٠,٦٥٤	٣,٠١
٧١,١١	٤,١٨٦	٩٧٧,٣	٤,٣	٠,٦٥٩	٢,٧٣
٧٦,٦٧	٤,١٩١	٩٧٣,٧	٤,٠١	٠,٦٦٥	٢,٥٣
٨٢,٢٢	٤,١٩٥	٩٧٠,٢	٣,٧٢	٠,٦٦٨	٢,٣٣
٨٧,٧٨	٤,١٩٩	٩٦٦,٧	٣,٤٧	٠,٦٧٣	٢,١٦
٩٣,٣٣	٤,٢٠٤	٩٦٣,٢	٣,٢٧	٠,٦٧٥	٢,٠٣
١٠٤,٤	٤,٢١٦	٩٥٥,١	٣,٠٦	٠,٦٧٨	١,٩
١١٥,٦	٤,٢٢٩	٩٤٦,٧	٢,٦٧	٠,٦٨٤	١,٦٦
٢٠٤,٤	٤,٤٦٧	٨٥٩,٤	١,٣٦	٠,٦٧٧	١,٥١
٣١٥,٦	٥,٧٠٣	٦٧٨,٧	٨٦٨×١٠^{-٥}	٠,٦١٦	٠,٨٣

ملحق (د)

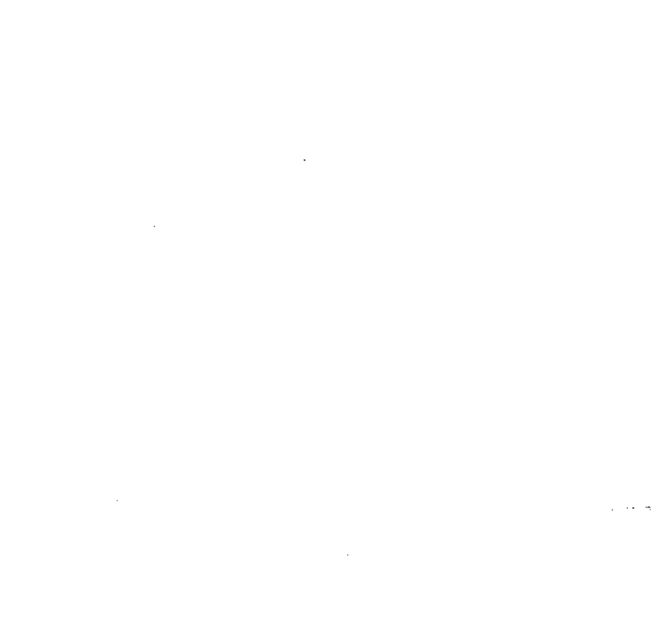
الخريطة السيكرومترية



شكل (١ د): خريطة سيكرومترية عند درجات حرارة منخفضة



شكل (٢ د): خريطة سيكرومترية عند درجات حرارة طبيعية



المراجع

أولاً قائمة المراجع العربية

١- إبراهيم، محمد حلمى - ١٩٩٧ - تهوية المنشآت الزراعية، جامعة الملك سعود. ص.ب ٢٤٥٤ - الرياض - ١١٤٥١ - المملكة العربية السعودية.

٢- السعدون، عبدالله - سرور، عبد اللطيف - طلبة، محمد حلمى. ١٤١٥هـ - تقنيات البيوت المحمية الزراعية - نشرة إرشادية رقم (٢٥)، مركز الإرشاد الزراعى - كلية الزراعة - جامعة الملك سعود - الرياض.

٣- بلبع، عبد المنعم وآخرون - بدون تاريخ - الزراعة المحمية - دار المطبوعات الجديدة - الأسكندرية - جمهورية مصر العربية.

٤- جون، ماسترليز - ١٩٨٤ - بيئة البيوت المحمية - ترجمة أحمد طواجن - كلية الزراعة - جامعة البصرة - مطبعة جامعة البصرة - العراق.

٥- حافظ، سهير محمد فتحى - ١٩٩٧ - دراسة اقتصادية مقارنة للزراعات المحمية والتقليدية فى الأراضى المستصلحة - رسالة ماجستير غير منشورة - جامعة عين شمس - القاهرة - جمهورية مصر العربية.

٦- حسن، أحمد عبد المنعم - ١٩٩٠ - تكنولوجيا الزراعات المحمية (الصوبات). الدار العربية للنشر والتوزيع، القاهرة، جمهورية مصر العربية.

٧- منظمة الأغذية والزراعة - ١٩٩٢ - الزراعة المحمية فى ظل مناخ البحر الأبيض المتوسط - سلسلة دراسات الإنتاج النباتى ووقاية النبات - مجلد ٩٠ - روما - ايطاليا.

٨- عطية، سامية رياض - ١٩٩٦ - تقييم اقتصادى للزراعة المحمية فى مصر - رسالة ماجستير غير منشورة - جامعة عين شمس - القاهرة - جمهورية مصر العربية.

ثانياً: قائمة المراجع الأجنبية:

9- American Society of Agricaltural Engineers. 1981. Heating, ventilating, and cooling greenhonses. ASAE Engineering practice: ASAE EP 406.

10- American Society of Agricaltural Engineers. Standards (ASAE), 1994. Design of ventilation system for poultry and livestock shelters. ASAE standards EP270.5

11- ASHRAE Guide and Data Book fundamentals. 1981. American Society of Heating, Refrigerating, and Air conditioning Engineers. N.Y.

12- Bot, G.P.A. 1993- The computerized greenhouse. Institute of Agricaltural engineering (IMAG-DLO), P.O. Box 43. Wageningen. Netherlands. PP5173.

13- Bond, T.E., L.C. Godbey and H.F. Zornig. 1977. Solar, long wave length, and photosynthetic energy. transmission of greenhonses. Cleve land and woopster, Ohio, March 20-23, PP.234-255.

14- Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1981. Solar Engineering of thermal process. John Wiley & sons. N.Y.

15- Hellickson, M.A. and J.N. Walker. 1983. Ventilation of Agricultural structures. American society of Agricultural Engineers. St. Joseph. MI. U.S.A.

16- Ibrahim, M.H. 1999. Predicting microclimatic conditions in green-houses. Misr Journal of Agricultural Engineering. Vol.16 (1). Jan. PP 67-82

17- Meyer, R.S. and D.B. Anderson. 1952. Plant physiology (2 nd edition) van Nostrand.

18- Mid west plan service (MWPS). 1983. Structures and Environment Hand book. Eleventh Ed. Iowa state Univ. Ames, Iowa 50011.

19- Morris, L.G., F.E. Neale and J.D. Postleth waite. The transpiration of glasshouse crops and its relationship to the incoming solar

radiation. J. of Agric. Eng. Research 2(2): 11-112.

20- Swinbank. W C 1963 Long wave radiation from clear skies. Quarterly Journal of the Royal Meteorological society,89.

21- Takakura, T., K.A- torson and L.L. Boyd. 1971. Dynamic simulation of plant growth and environment in the greenhouse. Trans. of the ASAE 14 (5): 965-971.

22- Walker, J.N. 1965. Predicting temperatures in ventilated greenhouses. Trans. of the ASAE 8 (3): 445-448.

23- Walker, J.N. and G.A. Duncan. 1978. Engineering considerations of energy problems in protected cultivation. Acta Horticulture, International Society for Horticulture science 76: 67-76.

24- Pacific North west laborators. "world-wide wind Energy Resource Distribution Estimates" - A map prepared for the world Meteorological Organization. 1981

25- Deudney D. and C. Flavin. 1983. Renewable Energy- the power to choose. A world watch Institute Book. W.W. NORTON Company. New york - London.

26- Holman, J.P 1981. Heat Transfer. McGraw - Hill Book Company. New York. U.S.A.

الدكتور/ محمد حلمى إبراهيم

- أستاذ بقسم الهندسة الزراعية. كلية الزراعة ـ جامعة الاسكندرية
- مواليد محافظة الاسكندرية عام ١٩٥٤م.
- حصل على بكالوريوس الهندسة الزراعية من جامعة الاسكندرية عام ١٩٧٦م.
- عمل معيداً بقسم الهندسة الزراعية ـ كلية الزراعة ـ جامعة الأسكندرية عام ١٩٧٦م.
- حصل على درجة الماجستير فى الهندسة الزراعية من جامعة الاسكندرية عام ١٩٨١م.
- نال درجة الدكتوراه فى الهندسة الزراعية عام ١٩٨٨م من جامعة ولاية ميريلاند الأمريكية.
- عمل مدرساً بقسم الهندسة الزراعية بكلية الزراعة جامعة الاسكندرية فى مارس عام ١٩٨٩ وتمت ترقيته إلى أستاذ مساعد فى إبريل عام ١٩٩٤ ثم أستاذاً فى نوفمبر عام ١٩٩٩.
- أعير إلى جامعة الملك سعود بالرياض بالمملكة العربية السعودية فى الفترة من عام ١٩٩٢ حتى عام ١٩٩٨.
- له العديد من البحوث العلمية فى مجال هندسة بيئة المنشآت الزراعية، ويقوم بتدريس العلوم ذات العلاقة بالهندسة الزراعية.

